

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DETERMINAÇÃO DE ÁREA, VOLUME E MASSA EM
ANIMAIS DE INTERESSE ZOOTÉCNICO**

Bruno Rodrigo Simão
Engenheiro Agrônomo, M.Sc.

2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**DETERMINAÇÃO DE ÁREA, VOLUME E MASSA EM
ANIMAIS DE INTERESSE ZOOTÉCNICO**

Bruno Rodrigo Simão

Orientador: Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia

Co-Orientador: Prof. Dr. Marcos Chiquitelli Neto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

2017

S588d Simão, Bruno Rodrigo
Determinação de área, volume e massa em animais de interesse zootécnico / Bruno Rodrigo Simão. -- Jaboticabal, 2017
xiii, 85 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Alex Sandro Campos Maia

Banca examinadora: Euclides Braga Malheiros, Vinícius de França Carvalho Fonseca, Tomas Norton, William Koury Filho.

Bibliografia

1. Digitalização animal em 3D. 2. Fotogrametria. 3. Medição do corpo animal. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.


CDU 636:57.018

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

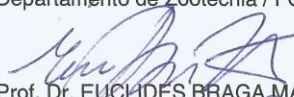
TÍTULO DA TESE: Determinação de área, volume e massa em animais de interesse zootécnico

AUTOR: BRUNO RODRIGO SIMÃO
ORIENTADOR: ALEX SANDRO CAMPOS MAIA
COORIENTADOR: MARCOS CHIQUITELLI NETO

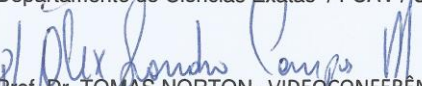
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:



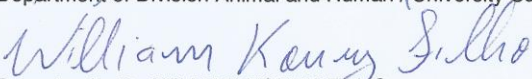
Prof. Dr. ALEX SANDRO CAMPOS MAIA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. EUCLIDES BRAGA MALHEIROS
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. TOMAS NORTON - VIDEOCONFERÊNCIA
Department of Division Animal and Human / University Catholic of Leuven - Belgium



Pesquisador Dr. WILLIAM KOURY FILHO
Julgamento de Bovinos de corte / Brasil com Z e Genética e Melhoramento dos Animais Domésticos / Jaboticabal/SP



Pós-doutorando VINICIUS DE FRANÇA CARVALHO FONSÊCA
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 05 de dezembro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

BRUNO RODRIGO SIMÃO – Nasceu no município de Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte, no dia 25 de janeiro de 1983. Em agosto de 2000 iniciou o curso de Graduação em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura de Mossoró, graduando-se em julho de 2005, na atual Universidade Federal Rural do Semi-árido. Em 2005 foi aprovado em primeiro lugar no concurso público para Engenheiro Agrônomo da Prefeitura Municipal de Areia Branca-RN, assumindo em fevereiro de 2006. Em março de 2006 iniciou o curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, com área de concentração em Produção Animal e ênfase em policultivo de tilápia e camarão, pela Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA, submetendo-se à defesa da dissertação de mestrado em fevereiro de 2008. Em março de 2010, ingressou no magistério superior por aprovação em concurso (segundo lugar) de provas e títulos para as disciplinas de Expressão Gráfica e Projeto Auxiliado por Computador, na UFERSA. Em 2014, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus Jaboticabal-SP, com ênfase em Biometeorologia Animal, durante o qual foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), na modalidade PROEX (11 meses) e PRODOUTORAL (30 meses) e bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo período de 3 meses.

Aos meus pais (João Batista Simão e Maria Bezerra Simão), esposa (Taniamar Lopes Cabral Simão) e amigos que me apoiaram nesta jornada possibilitando a concretização deste trabalho,

Dedico.

Agradecimentos

À Deus Pai, Filho e Espírito Santo, agradeço pelo DOM da vida e inúmeras graças concedidas a este indigno servo, sem as quais, este trabalho e nada em minha vida seria possível.

À Nossa Senhora, que é nosso amparo e refúgio nos momentos mais difíceis, nos guiando e guardando de todo o mal, assim como cuidou de Jesus.

Aos meus pais, João Batista Simão e Maria Bezerra Simão. Em especial à minha mãe, que desde o ventre lutou para que eu viesse ao mundo. Por toda dedicação, empenho, esforço e renúncias (noites em claro trabalhando para nos dar estudo) para que hoje eu pudesse chegar aqui.

À minha esposa, Taniamar Lopes Cabral Simão, por todo amor, compreensão, apoio, paciência, por ser o presente de Deus em minha vida, alicerce e fortaleza na saúde e na doença... Te amo!

À minha família, irmãs (Ana Lúcia, Elenúcia (Elena) e Luciana), irmãos (Marcelo e Leonardo), tios, tias, sobrinhos, sobrinhas... Enfim, toda a família que fez parte, rezando, intercedendo, torcendo, motivando e me impulsionando a conclusão dessa etapa. Um agradecimento especial à minha tia Iracema, que foi praticamente uma segunda mãe durante o meu tratamento, muitíssimo obrigado!

Ao meu orientador Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia primeiramente por ter sido um dos melhores exemplo de Cristão para mim! Agradeço não só pela orientação, mas pela amizade, apoio, compreensão e empenho dedicado à minha vida. Minha eterna gratidão!

À Comunidade Católica Shekiná, em todos e em cada membro, pelo acolhimento, orações, força e apoio... Vocês são como uma segunda família para mim!

Aos meus ex-professores da UFERSA, em especial, Auxiliadora Santos (professorinha), Nilson Sathler, Celicina Azevedo, nos quais reitero minha gratidão.

Ao Prof. Euclides Braga Malheiros, pois me transmitiu muito mais que os valiosos e maravilhosos conhecimentos em estatística, me ajudou a ser um ser humano melhor! Sou seu fã!

Aos meus colegas de trabalho professores Manuel Januário, Paulo César (PC) e Marcílio Nunes Freire, por todo apoio e atenção dedicados a este colega. Vocês tem o meu respeito!

Aos meus colegas de laboratório e do melhor grupo do mundo “INO BIO”, em ordem alfabética: Ângela Arduino, Carol Nagib, Cíntia Carol de Melo Costa, Eric Culhari, Gustavo Moura, Leandro Camerero, Patric Castro, Roberto Gomes da Silva, Sheila Tavares e Vinícius Fonseca. Sem vocês, esse trabalho não seria possível... Muito obrigado! Vocês gozam de um lugar especial em meu coração!

Ao meu Co-orientador, Prof. Dr. Marcos Chiquitelli Neto, agradeço os valiosos conhecimentos compartilhados e grande contribuição no manejo com os animais.

Aos meus professores na Unesp e USP (Pirassununga). Foram muito mais que conhecimentos... Foram lições de vida e que levarei comigo sempre!

À banca examinadora, Professores Alex Sandro Campos Maia, Euclides Braga Malheiros, Vinícius de França Carvalho Fonseca, William Koury Filho e Tomas Norton, por aceitarem o convite e por toda a colaboração dada neste trabalho.

Aos médicos que trataram de minha saúde com tanto afinco e foram o cuidado e dedicação de Deus pra mim, aqui na terra. Obrigado ao oncologista Kléber (Jaboticabal) por toda agilidade e empenho no diagnóstico inicial, bem como acompanhamento. Rochelle (oncologista), Henrique Santos (Proctologista/Cirurgião), Edilmar (Radiologista), Linhares (Angiologista e cirurgião vascular) e sua esposa Dany (enfermeira estomaterapeuta), nutricionistas Luciana e Caroline, Ivando (Urologista), Walter Fonseca (Otorrinolaringologista), toda equipe da oncocentro (enfermeiras, atendentes, etc.) dentre outros que foram essenciais em minha vida. Sou e serei eternamente grato!

À empresa ARTEC3D, pela disponibilização da licença comercial do software Artec Studio 11® e permitiu que esse trabalho pudesse ser realizado.

À Autodesk, pelo desenvolvimento e disponibilização da licença estudante do software REMAKE, onde foi possível mensurar a área e volume dos animais em 3D.

Ao Senhor Amistá, marceneiro que fez a parte de madeira do instrumento manual de medição da área de superfície. Muito obrigado.

À todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte de minha vida e contribuíram para esse momento, o meu **muito obrigado!**

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1 Metabolismo e necessidade energética dos animais.....	17
3.1.1 Taxa metabólica e tamanho corporal.....	18
3.1.2 Taxa metabólica e área de superfície.....	21
3.2 Metodologias para medição de área de superfície em animais.....	23
3.2.1 Equações empíricas.....	23
3.2.2 Medições manuais.....	25
3.2.3 Fotogrametria.....	30
3.2.3.1 Histórico da fotogrametria.....	32
3.2.3.2 Fotogrametria como instrumento de medição da área de superfície em animais.....	41
3.2.4 Escaneamento por sensor Microsoft kinect.....	43
3.2.4.1 Histórico do sensor Microsoft kinect.....	43
3.2.4.2 Especificações técnicas kinect.....	44
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.1 Local e Animais de estudo.....	46
4.2 Medidas por equações empíricas.....	47
4.3 Medidas por instrumento (direta) e molde parcial.....	47
4.4 Medidas por modelagem tridimensional (3D).....	48
4.4.1 Fotogrametria digital: Software Autodesk REMAKE® (AR).....	49
4.4.2 Escaneamento por sensor Microsoft kinect® e Artec Studio 11® (AS_KS).....	51
4.5 Análise de dados.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 Aplicação em ovinos Corriedale.....	55
5.2 Aplicação em bovinos Nelore.....	59
5.3 Análise em ambas as espécies.....	63
5.4 Implicações.....	67
6. CONCLUSÕES.....	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78


CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto intitulado "**Determinação computacional de área, volume e massa em animais de interesse zootécnico**", protocolo nº 16.628/16, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de junho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 04 de novembro de 2016.

Vigência do Projeto	10/11/2016 a 10/11/2017
Espécie / Linhagem	Bovino / Nelore/Holandês Ovino / Corriedale Caprino / Anglo Nubiana
Nº de animais	30
Peso / Idade	Bovino / 400-600 kg Ovino / 40-80 kg Caprino / 40-80 kg
Sexo	Machos e Fêmeas
Origem	Biotério do Laboratório de Bioclimatologia / Fazenda da Unesp / Bovinocultura de Leite / Ovinocultura e Caprinocultura.

Jaboticabal, 04 de novembro de 2016.


Profª Drª Lizandra Amoroso
Coordenadora – CEUA

DETERMINAÇÃO DE ÁREA, VOLUME E MASSA EM ANIMAIS DE INTERESSE ZOOTÉCNICO

RESUMO – A fim de utilizar a modelagem tridimensional (3D) para estimar área, volume e massa, bem como avaliar o impacto dos desvios envolvidos nas equações empíricas disponíveis na literatura, em animais, foram utilizados seis ovinos Corriedale tosqueados com massa entre 10 e 105 kg e cinco bovinos Nelore com massa entre 600 a 800 kg. Os animais foram treinados utilizando os princípios de habituação e condicionamento, a fim de reduzir a reatividade dos animais. Para medição da área de superfície, utilizaram-se basicamente três procedimentos: equação empírica (EE) para cada espécie, instrumento manual de medição (IMM) e modelagem 3D do animal por fotogrametria (AR) e escaneamento com sensor kinect (AS_KS). Foi realizada uma análise de covariância, sendo a massa a covariável e uma análise de regressão não linear foi ajustada como uma função potência (alometria). Analisando as médias de área de superfície, para ovinos, em relação aos procedimentos utilizados não houve diferença entre IMM e modelos 3D, bem como entre os modelos 3D, enquanto entre IMM e EE houve diferença significativa. Para os bovinos, observou-se que os procedimentos 3D foram, em média, superiores às estimativas de área de superfície pela EE ($\alpha=5\%$). Quando se plotou os dados de área de superfície, de ovinos, dos métodos testados em função da massa corporal, obteve-se aproximações empíricas distintas daquelas estimadas pela EE em mais de 11% para animais acima de 100kg, enquanto que para os bovinos a diferença média entre os modelos 3D e EE foi de mais de 18%. Como os ajustes das equações com IMM e por modelos 3D tiveram taxas de crescimento muito próximas e os desvios entre elas foram inferiores a 2%, constatou-se que o uso de modelos 3D foi ratificado. Quando se plotou os dados de ambas as espécies, observou-se excelentes ajustes ($R^2=0.99$) e estimativas consistentes com aquelas obtidas pelas equações específicas para cada raça, com desvios inferiores a 3,2%. Outras relações, como volume em função da área de superfície, foram estabelecidas, resultando em aproximações consistentes quando utilizada para estimar o volume do animal. Quando se considerou o animal como um Cilindro Horizontal Padrão (CHP), sua área de superfície foi estimada, em média, 36% abaixo daquelas observadas para os modelos 3D e IMM. Por meio da simulação da transferência de calor por convecção, obteve-se uma diferença de mais 56% na taxa de convecção quando se considerou o animal como um CHP em relação aos modelos 3D e cilindro horizontal completo (CHC). Quando se relacionou as informações das imagens bidimensionais (2D) com as informações dos modelos 3D, foi possível encontrar equações para estimar área, volume e massa dos animais. Outra abordagem que ficou constatada foi a utilização de modelos 3D para avaliação em melhoramento genético, como pelo método EPMURAS. O uso de modelos 3D para estimar a área de superfície e volume em animais foi validado. O método parece ser o melhor meio para estimar a área de superfície e volume, e certamente aparece como uma ferramenta para melhorar as pesquisas envolvendo transferência de calor e massa, bem como o melhoramento genético.

Palavras-chave: Digitalização animal em 3D, fotogrametria, medição do corpo animal

DETERMINATION OF AREA, VOLUME AND MASSA IN LIVESTOCK

ABSTRACT – In order to use three-dimensional (3D) modeling to estimate area, volume and mass, as well as to evaluate the impact of the deviations involved in the empirical equations available in the literature, in livestock, six shorn Corriedale sheep were weighed with mass between 10 and 105 kg and five Nelore cattle with mass between 600 and 800 kg. The animals were trained using the principles of habituation and conditioning in order to reduce the reactivity of the animals. For the measurement of the surface area, three procedures were used: empirical equation (EE) for each species, manual measurement instrument (IMM) and 3D animal modeling by photogrammetry (AR) and kinect sensor (AS_KS) scanning. A covariance analysis was performed, with the mass being covariable and a non-linear regression analysis was adjusted as a power function (allometry). Analyzing the surface area averages for sheep, in relation to the procedures used there was no difference between IMM and 3D models, as well as between 3D models, while between IMM and EE there was a significant difference. For cattle, it was observed that the 3D procedures were, on average, higher than the surface area estimates by EE ($\alpha=5\%$). When data were plotted on the surface area of sheep and the methods tested for body mass, empirical approximations were obtained, different from those estimated by EE in more than 11% for animals over 100 kg, while for cattle the difference between 3D and EE models was over 18%. As the adjustments of the equations with IMM and 3D models had very close growth rates and deviations between them were lower than 2%, it was verified that the use of 3D models was ratified. When plotting the data of both species, we observed excellent adjustments ($R^2 = 0.99$) and estimates consistent with those obtained by the specific equations for each breed, with deviations lower than 3.2%. Other relationships, such as volume versus surface area, were established, resulting in consistent approximations when used to estimate the volume of the animal. When the animal was considered as a Standard Horizontal Cylinder (CHP), its surface area was estimated, on average, 36% lower than those observed for the 3D and IMM models. Simulation of the heat transfer by convection gave a difference of 56% in the convection rate when the animal was considered as a CHP in relation to the 3D models and the full horizontal cylinder (HCC). When the information of the two-dimensional images (2D) was related to the information of the 3D models, it was possible to find equations to estimate area, volume and mass of the animals. Another approach that was verified was the use of 3D models for evaluation in genetic improvement, as by the EPMURAS method. The use of 3D models to estimate surface area and volume in animals was validated. The method seems to be the best medium for estimating surface area and volume, and it certainly appears as a tool to improve research involving heat and mass transfer as well as genetic improvement..

Keywords: 3D animal scanning, Photogrammetry, Animal body measurement.

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Equações empíricas desenvolvidas para animais.....	24
Tabela 2. Histórico da fotogrametria.....	41
Tabela 3. Área de superfície, em ovinos Corriedale, entre os diferentes procedimentos utilizados (média \pm erro padrão da média).....	55
Tabela 4. Dados dos ovinos Corriedale.....	55
Tabela 5. Área de superfície, em bovinos Nelore, entre os diferentes procedimentos utilizados (média \pm erro padrão da média)	59
Tabela 6. Dados obtidos para bovinos Nelore.....	60
Tabela 7. Dados de área lateral de fotos 2D de ovinos Corriedale e bovinos Nelore.....	69
Tabela 8. Pesos dos escores corporais a serem seguidos para avaliação visual.....	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Consumo de oxigênio específico em diferentes espécies.....	19
Figura 2. Consumo de oxigênio em função da massa.....	20
Figura 3. Medição da área de superfície do corpo por moldes.....	26
Figura 4. Medição de área de superfície por moldes parciais.....	26
Figura 5. Moldes de cães para medição de área de superfície.....	27
Figura 6. Integrador de superfície aplicado em bovinos leiteiros...	28
Figura 7. Integrador de superfície aplicado em seres humanos.....	28
Figura 8. Integrador de superfície aplicado em bovinos de corte...	29
Figura 9. Limites das áreas regionais em ovino Merino.....	30
Figura 10. Geometria em um modelo estéreo orientado.....	31
Figura 11. Primeira imagem da câmera obscura.....	32
Figura 12. Ilustração da câmera obscura “portátil” (semelhante à proposta de Risner).....	33
Figura 13. Diferentes modelos de câmera obscura portátil.....	33
Figura 14. Imagens dos inventores da fotografia e suas obras.....	34
Figura 15. Foto do “pai da fotogrametria” e seu fototeodolito.....	35
Figura 16. Imagem de Carl Pulfrich (1889) e seu estereocomparador.....	36
Figura 17. Imagem de Otto Von Gruber e instrumentos restituidores de fotos.....	37
Figura 18. Câmeras métricas e marcas fiduciais.....	38
Figura 19. Câmera aérea digital e ortofotocarta.....	40
Figura 20. Fases da fotogrametria.....	40
Figura 21. Sistema de medições por estéreo fotogrametria em humanos.....	42
Figura 22. Partes do sensor kinect.....	45
Figura 23. Instrumento Manual de Medição (IMM) de área de superfície.....	48
Figura 24. Plano de captura de imagens em volta do objeto.....	49
Figura 25. Plano de captura de imagens em diferentes posições..	49
Figura 26. Processamento de imagens no Autodesk REMAKE®..	50
Figura 27. Área de operação e campo de visão de diferentes sensores.....	51
Figura 28. Sistema de medidas Artec Studio 11® + Sensor Kinect.....	52
Figura 29. Modo “Scan” e definição do campo de profundidade no software Artec Studio 11®.....	52
Figura 30. Escaneamento com sensor kinect e Artec Studio 11®.....	53
Figura 31. Malha densa de pontos e textura do animal escaneado.....	53
Figura 32. Área de superfície em função da massa corporal, em ovinos.....	56

Figura 33. Área de superfície obtida por modelagem 3D em função da massa corporal, em ovinos.....	57
Figura 34. Volume em função d massa corporal (a) e área de superfície (b), em ovinos Corriedale.....	57
Figura 35. Relação área / volume em função da massa corporal, em ovinos Corriedale.....	58
Figura 36. Área específica (área por unidade de massa) em função do volume (a) e da massa corporal (b), em ovinos Corriedale.....	58
Figura 37. Área de superfície em função da massa corporal, em bovino Nelore.....	61
Figura 38. Volume em função da massa corporal (a) e da área de superfície, em bovinos Nelore.....	62
Figura 39. Área específica em função da massa corporal, em bovino Nelore.....	63
Figura 40. Modelos 3D de ovino corriedale e bovino nelore obtidos neste trabalho.....	64
Figura 41. Área de superfície em função da massa corporal (a) e volume (b), em ovinos Corriedale e bovinos Nelore.....	64
Figura 42. Volume em função da massa corporal (a) e da área de superfície (b), dados de ovinos e bovinos.....	65
Figura 43. Área específica em função da massa corporal (a) e do volume (b), dados de ovinos e bovinos.....	66
Figura 44. Relação área/volume geral em função da massa corporal, dados de ovinos e bovinos.....	66
Figura 45. Comparação entre diferentes modelos da área de superfície e seu impacto na transferência de calor por convecção, em ovinos Corriedale.....	68
Figura 46. Área de superfície 3D em função da área lateral 2D....	70
Figura 47. Volume em função da área lateral 2D.....	71
Figura 48. Massa corporal em função da área lateral 2D.....	72
Figura 49. Modelo 3D e método EPMURAS® para avaliações no melhoramento genético.....	75

1. INTRODUÇÃO

A era computacional tem proporcionado o desenvolvimento de tecnologias, bem como o seu uso em diferentes setores e atividades. Na produção animal, tem sido empregado o uso de imagens digitais para avaliação comportamental em aves (AYDIN et al., 2010), bem como para obtenção de medidas corporais de diferentes espécies (SCHOFIELD, 1999; BLOEMEN et al., 1997; OZKAYA & BOZKURT, 2008; STAJNKO et al., 2010; TASDEMIR et al., 2011). A radiofrequência também tem sido utilizada para avaliar o comportamento de animais.

As câmeras tridimensionais (3D) tem sido empregada em estudos para rastrear o movimento de suínos (TILLET et al., 1997), assim como para avaliar a postura traseira (VIAZZI et al., 2013) e escore corporal em vacas leiteiras (BIONDI, 2015). O sensor kinect também tem sido utilizado para medir o escore corporal (SPOLIANSKY et al., 2016), distância de tronco, circunferência do tórax, tamanho da cabeça, comprimento, altura do corpo (MARINELLO et al., 2015), traços de locomoção em vacas leiteiras (JABBAR et al., 2006) e estimar a massa e composição corporal em bovinos (GOMES et al., 2016).

Porém, em estudos de transferência de calor e massa, informações como área e volume dos animais são essenciais para determinação do balanço térmico. Atualmente, essas medidas têm sido realizadas com base na massa dos animais, por meio de equações empíricas desenvolvidas há algum tempo. Com isso, a questão que surge é: essas estimativas apresentam desvios? Se sim, qual é o tamanho desses desvios? Essas respostas são fundamentais para o cálculo do balanço térmico e, conseqüentemente, melhoria do sistema de produção.

Outra abordagem que tem sido empregada são modelos cilíndricos para o cálculo da convecção, onde o animal é considerado como uma forma geométrica regular, como é o caso do cilindro horizontal para quadrúpedes, ou ainda, como o modelo mais recente apresentado por Silva e Maia (2013), que além do corpo ser considerado como um cilindro horizontal, considera as pernas como cilindros verticais e cabeça como uma esfera.

Sabe-se que o animal possui uma forma irregular, porém não é conhecido o impacto dessa abordagem sobre taxa de convecção. Assim, a compreensão desses

aspectos e abordagens de forma criteriosa e científica pode inserir melhorias significativas nos sistemas produtivos e na zootecnia de precisão. Nas regiões tropicais, como é o caso do Brasil, as raças introduzidas sofreram modificações severas em sua estrutura e morfologia corporal, haja vista a necessidade de aclimação e sobrevivência ao ambiente.

Dentre as raças bem sucedidas a esse processo, encontra-se o gado Nelore, cujo rebanho já atinge mais de 218 milhões de cabeças, compreendendo mais de 85% do rebanho Brasileiro (PESQUISA, 2016). Assim, desde de sua introdução, o Nelore tem sofrido constantes modificações estruturais e morfológicas provocadas pelo processo de aclimação, bem como pelos diversos cruzamentos e seleções em programas de melhoramento genético.

Neste sentido, a compreensão da morfologia e do crescimento animal tem demandado um esforço científico considerável, a fim de incrementar melhorias nos sistemas de produção. E dentre os avanços atuais encontram-se sistemas cada vez mais tecnificados, onde é possível observar aplicação de tecnologia a partir de imagens, vídeos, dispositivos eletrônicos, sensores, etc., para monitoramento das diversas atividades envolvidas no processo produtivo, bem como do comportamento dos animais no ambiente.

Essa demanda por sistemas que possibilitem obtenção de medidas dos animais com um mínimo de manejo tem exercido uma pressão sobre a comunidade científica para geração de conhecimentos e tecnologias nessa direção. Buranakarl et al. (2012) utilizaram modelos 3D, por estéreo-fotogrametria, para obtenção de medidas corporais e área de superfície em búfalos do mediterrâneo. Entretanto, o uso de modelos 3D não foi empregado para estimar a área de superfície em Nelore e ovinos Corriedale.

Assim, este trabalho foi proposto para desenvolver uma metodologia computacional não invasiva, com desvio mínimo, conhecido e de baixo custo, para estimar a área, volume e massa dos animais de produção em estudos de transferência de calor e massa e, conseqüentemente, melhoria nas condições de conforto térmico em instalações zootécnicas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar área, volume e massa por meio da modelagem 3D em animais.

2.2 Objetivos Específicos

Descrever os procedimentos empregados para estimar área, volume e massa em animais;

Aplicar o uso de modelagem 3D em bovinos nelore e ovinos corriedale.

Propor equações para estimativa de área de superfície e volume em função da massa corporal de pequenos e grandes ruminantes.

Estudar os desvios envolvidos nos modelos empíricos para estimação da área de superfície em ovinos e bovinos.

Quantificar o impacto na taxa de convecção de ovinos quando considerado como um cilindro horizontal para avaliar a precisão dessas medidas.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Metabolismo e necessidade energética dos animais

Os animais podem ser entendidos como sistemas ordenados ou organizados. E como tal, em termos termodinâmicos, são considerados como sistemas abertos, haja vista que sem a entrada externa de energia, esse sistema, através de suas moléculas vitais, tenderá a desordem até parar. Ou seja, a ausência de entrada de energia, fará com que íons positivos e negativos se distribuam de forma aleatória em uma membrana celular animal, impossibilitando a geração de impulsos nervosos e a consequente desordem que pode levar o animal à morte (HILL et al., 2012).

Dentre as formas de energia que o animal utiliza para desenvolver suas funções principais e capacidade de realizar trabalho fisiológico estão as principais formas: química, elétrica e mecânica. A energia química pode ser entendida como a energia oriunda das ligações químicas, seja através da energia liberada ou necessária quando as moléculas são rearranjadas em novas configurações. A energia elétrica, por sua vez, é devido a separação de cargas elétricas positivas e negativas que o sistema possui. A energia mecânica seria a energia do movimento organizado, ou seja, o movimento do sangue, por exemplo. Enquanto que o calor, conhecido por energia cinética molecular, é a energia que a matéria possui devido o movimento aleatório e incessante de todos os átomos e moléculas que a compõem, sendo que o calor não gera trabalho fisiológico (HILL et al., 2013).

O principal meio de obtenção de energia dos animais se dá pela oxidação dos alimentos. Assim, a quantidade de oxigênio consumida por eles pode ser usada como uma medida indireta do metabolismo energético. Neste sentido, a fonte de energia comum e imediata ou o intermediário universal no fluxo de energia química dos alimentos necessários para os processos que requerem energia nos organismos vivos, como a contração muscular, os processos de transporte celular e todos os tipos de reações de síntese, é o trifosfato de adenosina (ATP), por meio da hidrólise de uma ligação de fosfato “rica em energia” (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

A taxa de consumo dessa energia realizada por um animal é a sua taxa metabólica, ou seja, é o metabolismo de energia por unidade de tempo, constituindo

uma medição de quanto ele converte energia química em calor e trabalho externo. A taxa metabólica é dada em calorias por unidade de tempo ou *watts*. (HILL et al., 2013; SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

Existem basicamente três formas de determinar a taxa metabólica, sendo eles: 1. Por diferença entre o valor energético do alimento ingerido e o valor energético de todos os excrementos, especialmente fezes e urina; 2. Pela determinação da produção total de calor do organismo (calorimetria direta); 3. Quantidade de oxigênio usada nos processos de oxidação (calorimetria indireta), desde que haja informações sobre quais substâncias foram oxidadas e não haja metabolismo anaeróbico (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

Para Schmidt-Nielsen (2002), o consumo de oxigênio pode ser usado como uma medida prática da taxa metabólica pelo fato de que a quantidade de calor produzido para cada litro de oxigênio usado no metabolismo permanece quase constante, independente de gordura, carboidrato ou proteína serem oxidados, sendo uma técnica relativamente simples. Embora essa relação quase constante quanto ao consumo de oxigênio na oxidação dos alimentos, cada grama desses alimentos fornecem quantidades bem diferentes de energia. No caso da gordura, por exemplo, a energia obtida da oxidação de 1g é de 9,4 kcal, enquanto que carboidrato e proteína são 4,2 e 4,3 kcal, respectivamente.

3.1.1 Taxa metabólica e tamanho corporal

Quando se observa o consumo de oxigênio (O_2) em mamíferos de tamanhos diferentes é esperado um valor de consumo maior nos mamíferos maiores quando comparado com mamíferos menores. No entanto, se ao invés de calcular o consumo de oxigênio, for calculado o consumo de oxigênio específico, ou seja, o consumo de oxigênio por unidade de massa é possível observar uma relação interessante (Figura 1.a) entre o tamanho do corpo e o consumo de oxigênio, onde a taxa de consumo de oxigênio por unidade de massa reduz consideravelmente com o tamanho do animal (SCHMIDT-NIELSEN, 2013).

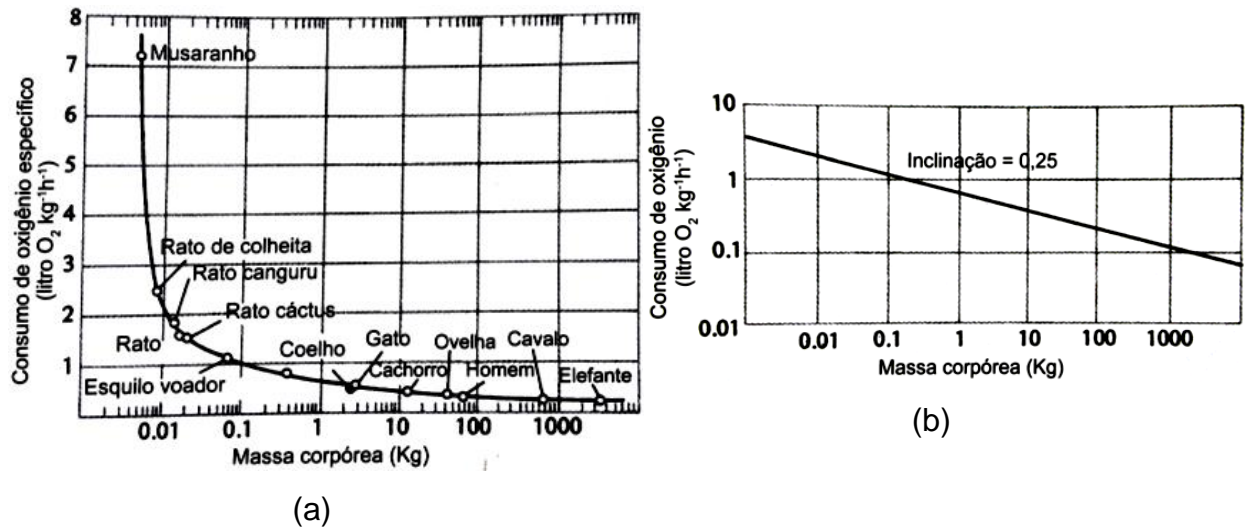


Figura 1. Consumo de oxigênio específico em diferentes espécies. Fonte: Schmidt-Nielsen, (2002).

Assim como o consumo de consumo de O₂ tem esse comportamento, outras variáveis fisiológicas devem ser afetadas similarmente, como fluxo sanguíneo, frequência cardíaca e respiratória, etc. Quando se aplica escala logarítmica em ambos os eixos (consumo de O₂ e massa corpórea), observa-se uma reta de inclinação 0,25 (Figura 1.b), ou seja, o metabolismo dos mamíferos, por unidade de massa, reduz a uma taxa regular quando se aumenta o tamanho do corpo (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

Uma formulação geral da lei de superfície expressando a relação entre tamanho corporal e metabolismo (Figura 2) pode ser encontrado se o logaritmo do metabolismo for plotado contra o logaritmo do peso corporal. Como resultado, tem-se que o logaritmo do metabolismo é proporcional ao logaritmo do peso corporal (KLEIBER, 1932). Assim, essa relação mantida entre o consumo de oxigênio e o tamanho em diferentes organismos sugere uma regra biológica para o fenômeno (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

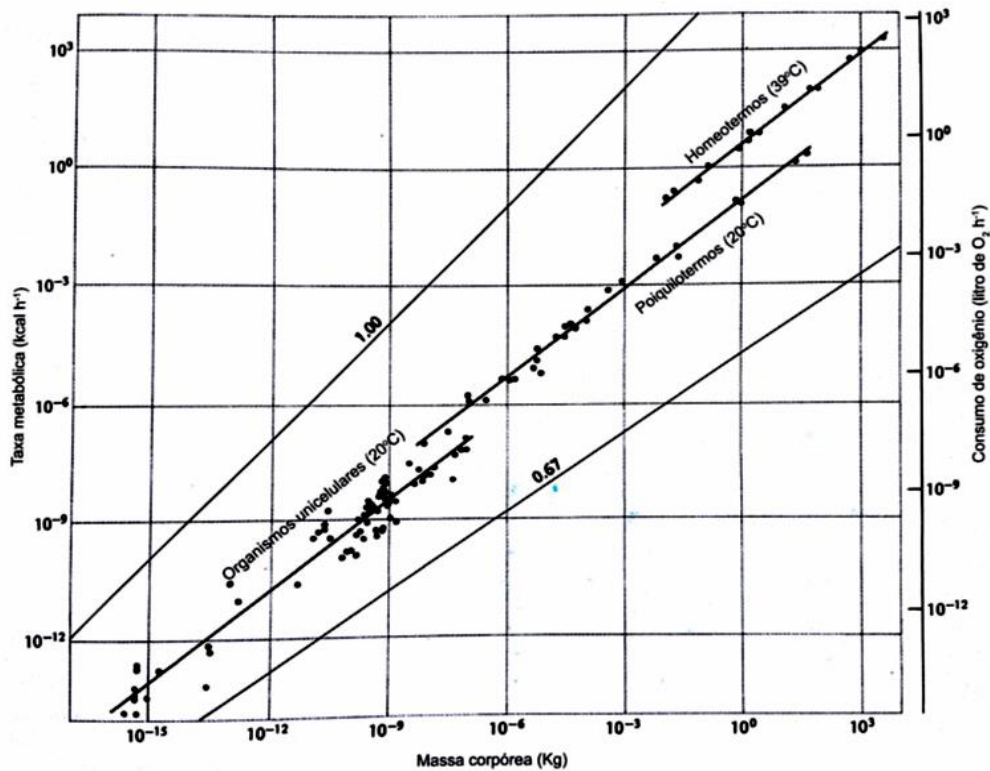


Figura 2. Consumo de oxigênio em função da massa. Fonte: Schmidt-Nielsen, (2002).

Esses padrões discutidos ou modelos ajustados são considerados gerais e são expressos por uma equação chamada de alométrica, uma função potência do tipo: $Y = a X^b$, onde os coeficientes “a” e “b” são constantes. Y, seria o consumo de oxigênio, por exemplo, e X a massa do indivíduo. O valor de b representa a taxa crescimento diferencial entre o metabolismo e peso corporal. Se b fosse igual a 1, representaria um crescimento isométrico ou proporcional, ou seja, a taxa de consumo de oxigênio cresceria na mesma proporção do peso corporal. O que não é fato, pois esse valor tem apresentado valor inferior a 1 e, em geral, este valor está entre 0.65 e 0.75 e, quase sempre, entre 0,6 e 0,9 (REISS, 1989; HILL et al., 2013; SCHMIDT-NIELSEN, 2002; KLEIBER, 1932).

Já o coeficiente “a” não possui valores consistentes de um grupo filogenético, onde alguns grupos apresentam taxas metabólicas intrinsecamente muito maiores do que as taxas metabólicas de outros grupos e, conseqüentemente, apresentam valores de “a” muito maiores. Na equação alométrica, se a massa for igual a 1, o resultado seria: $Y = a$. Logo, “a” seria taxa metabólica de um grama do animal no grupo filogenético que está sendo considerado (HILL et al., 2013).

3.1.2 Taxa metabólica e área de superfície

No início do século XX, Max Rubner, um fisiologista alemão, trabalhando com cães, encontrou resultados em consonância com a abordagem feita anteriormente, onde cães menores apresentaram taxas metabólicas, por unidade de massa, maiores que cães de tamanho superior. Ele relacionou e atribuiu que esse fato foi devido o animal menor possuir maior superfície corporal, por unidade de massa, que o animal maior (SCHMIDT-NIELSEN, 2002; HILL et al., 2013).

Desse modo, para que animais possam manter a mesma temperatura corporal, precisam produzir calor metabólico na mesma proporção que a perda de calor. Calculando a produção de calor por unidade de área de superfície, ele encontrou valores similares para cães pequenos e grandes, acreditando, então, que sua teoria havia sido confirmada, propondo que a taxa metabólica fosse determinada pela área superficial e pela necessidade de manter-se aquecido. Esta afirmação ficou conhecida como a “lei de superfície de Rubner” ou simplesmente “lei de superfície” (SCHMIDT-NIELSEN, 2002; HILL et al., 2013).

Para melhor compreensão dessa “lei”, pela geometria, é possível observar que a área de superfície (A) de uma esfera é proporcional ao quadrado de seu raio (r), $A \propto r^2$, e que o volume (V) da esfera é proporcional ao cubo de seu raio, $V \propto r^3$, logo é possível escrever a seguinte expressão: $A \propto V^{(2/3)}$. Ou seja, quando se aumenta o tamanho de uma esfera, sua área de superfície não aumenta proporcionalmente, mas em $2/3$ desse aumento de tamanho. Essa relação é semelhante para diversos tipos de objetos geometricamente semelhantes. Assim, é esperado que a área de superfície externa tenha um crescimento aproximado em relação ao volume de $2/3$, enquanto a taxa de superfície externa / volume seja decrescente (HILL et al., 2013).

Para Rubner, a taxa metabólica de um mamífero é proporcional à sua área de superfície corporal e está fundamentado no seguinte: 1. Mamíferos mantem sua temperatura corporal relativamente elevada (aproximadamente 37°C) e constante, perdendo calor para o ambiente quando estudados em ambiente termoneutro; 2. A taxa de calor perdido é proporcional à superfície corporal do animal; 3. Mamíferos

menores possuem superfície específica maior em relação aos mamíferos maiores, perdendo calor mais rapidamente por unidade de peso; 4. O metabolismo deve repor o calor perdido para o mamífero se manter aquecido, o que implica dizer que pequenos mamíferos devem produzir calor a uma taxa superior por unidade de peso em relação a mamíferos grandes (HILL et al., 2013).

Entretanto, essa “lei” tem sido refutada por valores discrepantes encontrados na literatura, bem como por não explicar as relações alométricas em animais peilotérmicos. Com isso, duas novas teorias surgiram para explicar essa relação entre taxa metabólica e tamanho corporal. A primeira baseia-se na matemática da geometria fractal, onde as relações alométricas ocorrem porque os sistemas-chave de transporte interno dos animais, como o sistema vascular sanguíneo, ramificam-se de acordo com os princípios geométricos fractais. Essa teoria salienta que as taxas de transporte são direcionadas em distintos caminhos pela geometria. Esses modelos computacionais predizem que um expoente alométrico de 0,75 que ocorrerá quase que universalmente (HILL et al., 2013).

Enquanto que a segunda teoria é diferente de todas as demais já desenvolvidas por se basear em múltiplas causas. Ela está baseada no modelo hierárquico moderno de controle dos processos bioquímicos no metabolismo. Nesse modelo, a taxa de qualquer processo depende da interação das taxas de múltiplos processos subjacentes. No entanto, ainda não se tem um consenso entre os cientistas acerca dessas teorias (HILL et al., 2013).

É interessante observar que vários processos fisiológicos, não apenas a perda de calor estão relacionados com área de superfície, pois todas as células tem superfícies através das quais os nutrientes e o oxigênio devem penetrar e os produtos metabólicos devem sair. A composição iônica das células são mantidas diferentes do líquido extracelular, devendo essas diferenças serem mantidas com a área de superfície. Portanto, o metabolismo como um todo não pode ser visto independentemente da superfície (SCHMIDT-NIELSEN, 2002).

3.2 Metodologias para medição de área de superfície em animais

3.2.1 Equações empíricas

Elting (1926) relata que, no final do século XIX, a discussão acerca da produção de calor e área superficial ainda era inteiramente teórica, já que não se dispunha de medidas reais de área de superfície medidos em indivíduos vivos. Kleiber (1961) descreve que, dentre os estudos que precederam a “lei de superfície”, destaca-se o trabalho de Richet, onde ele mediu a taxa metabólica em coelhos. Por aproximação, mas buscando um conceito mais concreto, ele calculou a área de superfície dos coelhos a partir dos pesos deles, assumindo os coelhos como uma esfera de densidade 1. A superfície da esfera pode ser calculada a partir do volume pela equação:

$$A = 4,84 \cdot V^{\frac{2}{3}} \quad [1]$$

Em que A era a área de superfície (dm²) e V, o volume (Litros). Com densidade igual a 1, o volume é igual a massa (kg).

A busca por uma medida real da área de superfície e o fato de acreditar que o animal não era realmente uma esfera, Meeh realizou medidas reais em humanos (adultos e crianças), resultando em uma fórmula que seria usada para animais de forma geral. Essa equação foi fundamentada na lei básica da matemática que diz que a área de superfície de sólidos similares é proporcional a 2/3 do seu volume. Desse modo, considerando mesma gravidade específica em todos os casos, ele substituiu o peso por volume e expressou sua fórmula como:

$$A = k \cdot M^{\frac{2}{3}} \quad [2]$$

Onde A representa área de superfície (cm²), M é a massa (kg) e k é a constante de Meeh e varia conforme a espécie animal. Para adultos, k=12,312, enquanto que para crianças, k=11,9 (ELTING, 1926; KLEIBER, 1932; KLEIBER, 1961).

Depois disso, muitos pesquisadores, trabalhando com diferentes espécies, encontraram diferentes valores para o fator de Meeh, como ficou conhecido. Mais tarde, não apenas diferentes coeficientes foram sugeridos, mas também os expoentes da função potência foram variados (KLEIBER, 1932). Os irmãos Du Bois

em seu artigo 10 da série “calorimetria clínica” (Du Bois & Du Bois, 1915), a partir das medidas que realizaram em humanos, desenvolveram uma fórmula baseada no peso e altura do indivíduo:

$$A = 71,84 \cdot M^{0,425} \cdot L^{0,725} \quad [3]$$

Onde A = área de superfície (cm²); M = massa (kg) e L = comprimento/altura do corpo (cm). Kleiber (1961) relata que a fórmula desenvolvida pelos irmãos Du Bois é dimensionalmente correta e que ela expressa a área de superfície como o quadrado da dimensão linear ou a potência de 2/3 do volume.

Em seguida, diversos pesquisadores iniciaram uma busca pela equação que melhor estimasse ou que se aproximasse da medida real dos animais, dentre as quais estão relacionadas algumas na Tabela 1. Existem muitas outras equações empíricas citadas na literatura. Muitas dessas equações empíricas e os coeficientes de Meeh, desenvolvidos por diversos autores, foram estudados para mensurar área de superfície em diferentes trabalhos, bem como para compará-los (FINCH, 1985; BERMAN, 2003; GOUMA et al., 2012; BURANAKARL et al., 2012).

Finch (1985) utilizou equações disponíveis na literatura (Kibler & Brody, 1950; Mitchell, 1962) trabalhando com as raças Brahman, Hereford-Shortorn e o cruzamento das duas raças. Entretanto, para os cruzamentos utilizou-se uma adaptação das equações, onde o coeficiente “a” utilizado no trabalho foi uma média dos valores disponíveis na literatura supracitada.

Tabela 1. Equações empíricas desenvolvidas para animais.

Referência	Espécie	Condição	Equação empírica*
Moulton (1916)	Hereford-Shorthorn (bovino de corte)	Gado gordo	$A = 0,158 \cdot M^{\frac{5}{9}}$ m ² ; kg
Moulton (1916)	Hereford-Shorthorn (bovino de corte)	Gado vazio (outros animais)	$A = 0,1186 \cdot M^{\frac{5}{8}}$ m ² ; kg
Moulton (1916)	Hereford-Shorthorn (bovino de corte)	Geral (todos os animais)	$A = 0,1034 \cdot M^{\frac{2}{3}}$ m ² ; kg
Hogan & Skouby (1923)	Bovinos Suínos	Bovino, k=217 Suínos, k=175	$A = k \cdot M^{0,4} \cdot C^{0,6}$ cm ² ; kg; cm
Elting (1926)	Bovino leiteiro	Holandês Jersey	$A = 1470 \cdot M^{0,56}$ cm ² ; kg
Brody & Elting (1926)	Bovino leiteiro	Holandês Jersey	$A = 0,15 \cdot M^{0,56}$ m ² ; kg
Brody et al. (1928)	Suíno	-	$A = 0,097 \cdot M^{0,633}$ m ² ; kg

Brody et al. (1928)	Bovino de corte	-	$A = 0,133 \cdot M^{0.556}$ m ² ; kg
Brody et al. (1928)	Bovino leiteiro	Holandês Jersey	$A = 0,15 \cdot M^{0.556}$ m ² ; kg
Mitchell (1930)	Frangos Brancos Leghorn	Moldes	$A = 8,19 \cdot M^{0.705}$ cm ² ; g
Kibler et al. (1947)	Porquinho da Índia	Medidas lineares (vivos) Medidas a partir da pele	$A = 9,85 \cdot M^{0.64}$ $A = 9,04 \cdot M^{0.64}$ cm ² ; g
Bennett (1973)	Ovinos Merino	22,6 – 63,1 kg	$A = 0,171 \cdot M^{0.503}$ m ² ; kg
Kelley et al.(1973)	Suínos (fêmeas) Hampshire-Yorkshire (5) Duroc (4)	30 – 123 kg 60kg (medição direta e fotogrametria)	$A = 734 \cdot M^{0.656}$ cm ² ; kg
Finch (1985)	Bovino de corte	Cruzado de Brahman vs Hereford-Shorthorn	$A = 0,14 \cdot M^{0.556}$ m ² ; kg
			$A = 0,235 \cdot M^{0.480}$
Minagawa (1994)	Bovino japonês Shorthorn	Fotogrametria	m ² ; kg $V = 0,00376 \cdot M^{0.805}$
			m ³ ; kg

* A = área de superfície; M = Massa corporal; C = Comprimento corporal; k = coeficiente que varia conforme a espécie animal estudada. V = Volume do animal.

3.2.2 Medições manuais

Kleiber (1961) descreve que por várias décadas, as medidas de área de superfície animal esteve na moda em muitos laboratórios de fisiologia. Relata ainda que muitos métodos engenhosos foram criados para obtenção de tais medidas e dentre eles destaca algumas como esfarrapar os animais, ou ajustar um molde e, em seguida, apliná-lo para medição. O trabalho de Rubner foi realizado por meio do recobrimento do corpo de homens e mulheres com papel de alumínio e pesou a quantidade de papel usado para esse trabalho de tapeçaria.

Ainda trabalhando com humanos, os irmãos Du Bois mediram a área de superfície a partir de moldes (Figura 3). O método consistia em fazer um molde fino do corpo com papel manila forte, umedecido com goma de um lado quando aplicado ao tecido que cobre o corpo. O molde era retirado com o auxílio de uma tesoura e o interior do tecido era coberto com uma parafina líquida para que ficasse firme e o

trabalho fosse realizado. Então o molde era cortado nas bordas de várias regiões do corpo e cada uma dessas regiões era cortada em pedaços que ficavam planas.

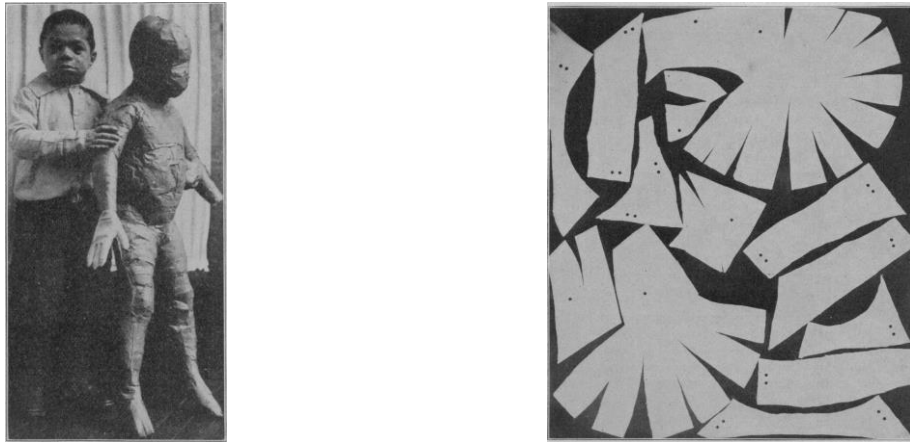


Figura 3. Medição da área de superfície do corpo por moldes. Fonte: Du Bois & Du Bois, 1915.

Após esse processo, eram marcadas e dispostas em quadro de impressão fotográfica e secas ao sol. Os padrões das peças do molde eram cortados, cuidadosamente medidos e a área de cada grama de papel era determinada. Como para as mãos, o mesmo processo não pode ser feito de forma satisfatória, então foi utilizado a parafina derretida e aplicada sobre luvas. Ainda foram testados outros produtos para isso, mas sem sucesso (Du Bois & Du Bois, 1915).



Figura 4. Medição de área de superfície por moldes parciais. Fonte: Hogan & Skouby (1923)

Hogan & Skouby (1923) utilizaram moldes parciais, similares àqueles empregados pelos irmãos Du Bois, em bovinos e suínos, realizando as primeiras medidas em animais vivos (Figura 4). A metade do animal foi dividida em quatro partes: 1 e 2. pernas traseira e dianteira, 3. Ombro, pescoço e cabeça e 4. Corpo e quarto traseiro. O outro método utilizado por eles foi a partir de animais abatidos, onde o esboço de toda a pele foi traçado em uma grande folha de papel feita

colando tiras de papel de embrulho pesado. A área de superfície foi obtida desenhando retângulos e triângulos no rastreamento da pele e medindo essas áreas. Outro trabalho realizado com moldes, mas em cães, foi o de Cowgill & Drabkin (1926), onde foram realizados moldes em animais anestesiados e animais mortos (Figura 5).

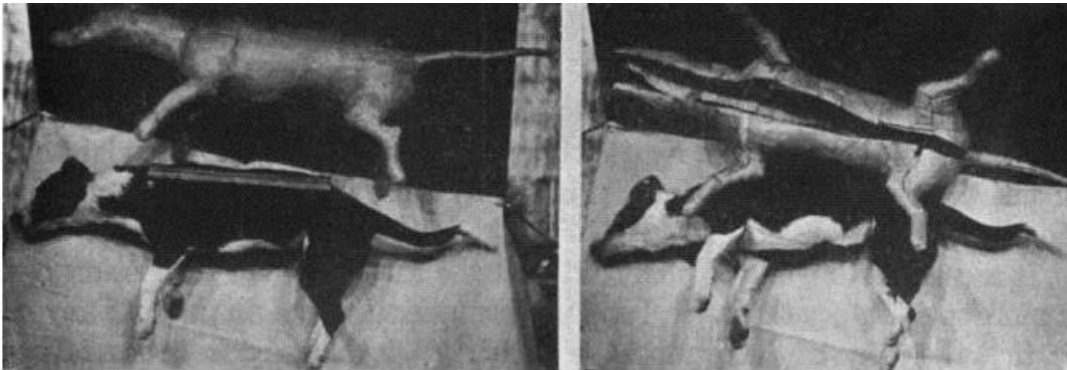


Figura 5. Moldes de cães para medição de área de superfície. Fonte: Cowgill & Drabkin (1926)

Apesar de ter sido um método estabelecido e empregado, os pesquisadores encontravam bastante dificuldade de realizar medidas em animais vivos e com certo grau de acurácia. Outros acabaram aceitando a fórmula desenvolvida por Meeh como aplicável a todas as espécies. Entretanto não se tinham muitos valores da constante de Meeh para diferentes espécies utilizadas na produção animal (Elting, 1926).

Foi então que Brody & Elting (1926) desenvolveram um novo método de medição de área de superfície satisfatório com um bom grau de acurácia, publicado em junho de 1926 no Boletim de Pesquisa 89 da Universidade de Missouri, Columbia, Estados Unidos. O método consistiu em passar um cilindro de metal giratório de área conhecida, conectado a um contador de voltas em toda a superfície do animal. Então, simplesmente multiplicando o número de voltas do rolo pela área do mesmo, se obtinha a área de superfície. A técnica envolvida é simples e de baixa computação. O pesquisador descreve ainda que, na maioria dos casos, o instrumento, conhecido por integrador de superfície (Figura 6), era passado apenas na metade do animal e multiplicado o valor obtido por 2.

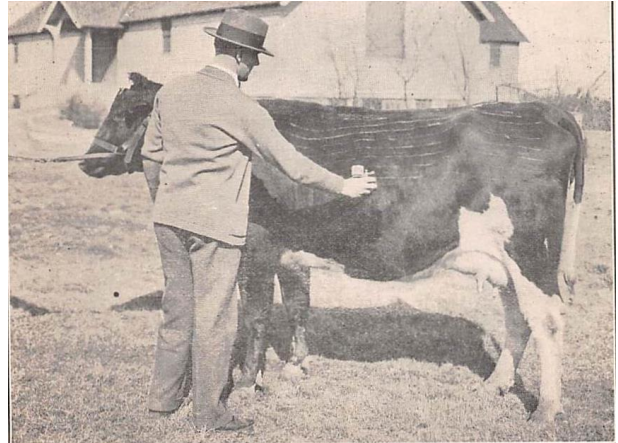
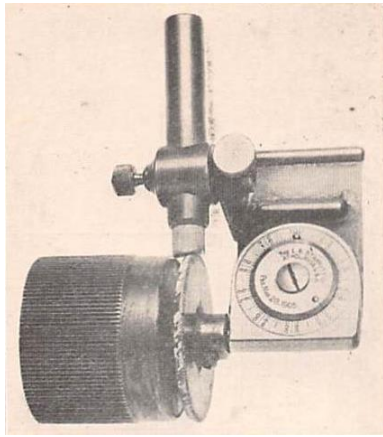


Figura 6. Integrador de superfície aplicado em bovinos leiteiros. Fonte: Brody & Elting (1926)

Assim, dois anos mais tarde, Brody et al. (1928) publicaram o boletim de pesquisa 115, da Universidade de Missouri, apresentando equações de regressão para medição da área de superfície para diferentes espécies como suínos, humanos (Figura 7), bovinos de corte, bovinos de leite e cavalos, obtidas a partir de medições realizadas com o integrador de superfície. Johnson et al. (1961) trabalhando com bovinos leiteiros e de corte, também utilizou o integrador de superfície para medir a área de superfície dos animais (Figura 8).

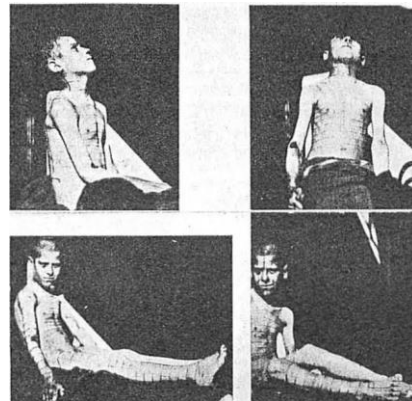
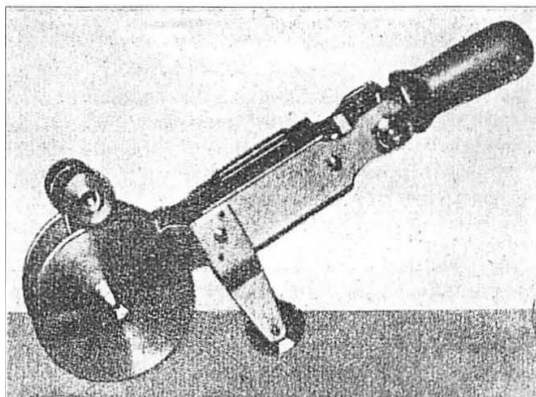


Figura 7. Integrador de superfície aplicado em seres humanos. Fonte: Brody et al. (1928)

O método descrito por Bennett (1973) consistiu em realizar várias medidas corporais, grau de rugas da pele, índice de tamanho corporal, água tritiada e teor de gordura antes do abate. Delimitou-se, então, as regiões do corpo, utilizando o esqueleto como guia (Figura 9), aplicando um cimento de borracha preto na superfície do pelo e tatuando os pontos na pele em 15 locais selecionados. Cada

ovelha foi pesada de 1 a 3 horas após a alimentação da manhã e depois foi abatida com pentobarbital de sódio.

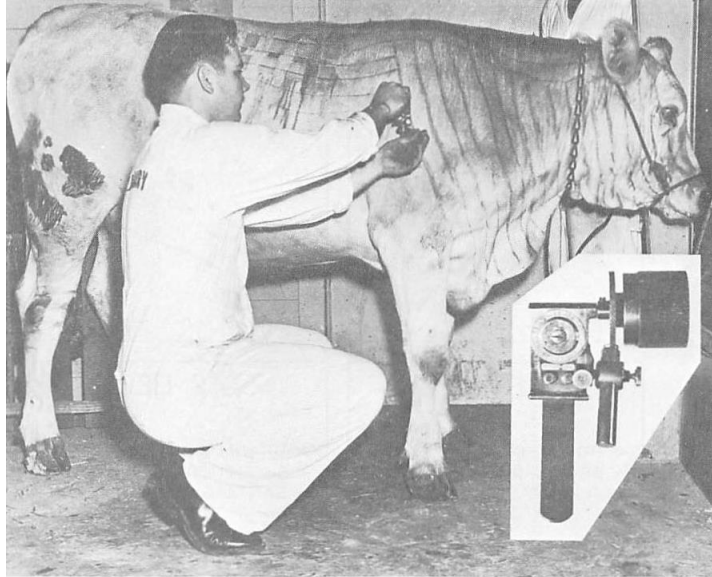


Figura 8. Integrador de superfície aplicado em bovinos de corte. Fonte: Johnson et al., (1961).

As orelhas foram cortadas em nível com a pele da cabeça e a pele restante removida da carcaça em uma só peça. Então a pele foi colocada sobre a superfície plana e o grau de estiramento controlado pela manipulação da pele de modo que as distâncias entre os pontos tatuados fossem iguais às distâncias obtidas antes do abate. Os limites das áreas regionais foram marcados em papel transparente colocado sobre a pele, e o papel cortou os limites. As áreas foram calculadas a partir do peso de cada peça e o peso de uma área conhecida do papel. Com relação às áreas de traçados das orelhas foram dobradas para permitir superfícies internas e externas. A soma de todas as áreas regionais foi considerada como a área de superfície total (BENNETT, 1973).

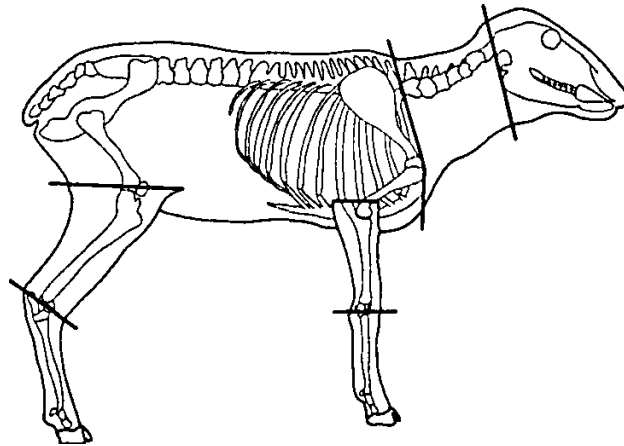


Figura 9. Limites das áreas regionais em ovino Merino. Fonte: Bennett (1973).

3.2.3 Fotogrametria

A palavra fotogrametria etimologicamente vem do grego e significa: photon = luz, graphos = escrita, metron = medições (BRITO & COELHO, 2002). Pela própria palavra, podemos defini-la como “a ciência de medição em fotos” (LINDER, 2003). Entretanto, não se tem um consenso acerca da definição formal sobre o assunto. Ribeiro (2002), citando a definição da American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 1980), relata que se assume como uma definição razoável, a seguinte:

“É a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos”.

Quando se tem o interesse de medir um determinado objeto, como por exemplo, tamanho (comprimento, altura, largura), geralmente essas medidas são tomadas no próprio objeto. Porém, quando isso não é possível, seja porque o objeto não exista mais ou por dificuldade de realização da medida *in locu*, as fotos, desde que determinada sua escala, surgem como uma boa opção de acesso a essas informações quantitativas (LINDER, 2003).

Desse modo, a fotogrametria possui métodos que permitem obtenção dessas medidas. Logicamente, a partir de uma imagem em duas dimensões (2D) é possível obter informações bidimensionais. Enquanto a obtenção de informações tridimensionais é possível a partir de objetos em três dimensões (3D). Para tal, baseou-se na visão humana, que é capaz de ver os objetos de maneira espacial e consegue estimar distâncias entre os objetos e a pessoa, pois o cérebro dispõe a todo instante de duas imagens (olho esquerdo e olho direito), constituindo um sistema de visão em perspectiva que é denominado de visão estereoscópica (LINDER, 2003).

Linder (2003) ainda aborda que esse princípio é usado para obter informações tridimensionais em fotogrametria. Quando se dispõe de duas ou mais fotos de um mesmo objeto, mas tomadas de posições distintas, é possível calcular as coordenadas tridimensionais de qualquer ponto que esteja representado nas fotos. Desse modo, a principal tarefa da fotogrametria seria, para qualquer ponto objeto representado em pelo menos duas fotos, calcular as coordenadas tridimensionais do objeto (animal). Na Figura 10, é apresentado uma fotogrametria aérea para ilustrar o exposto anteriormente.

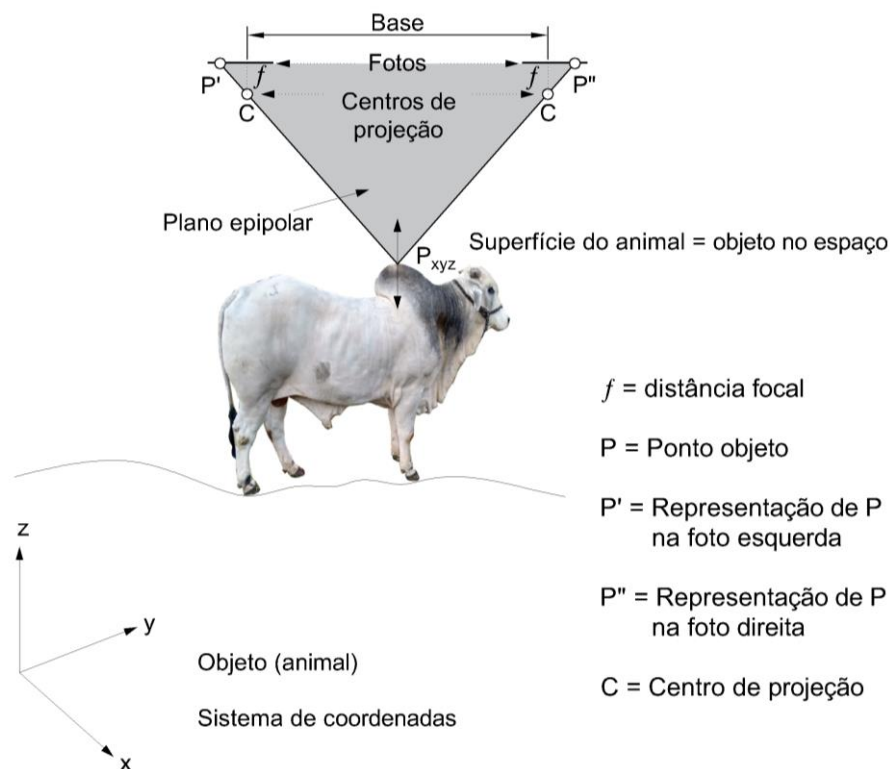


Figura 10. Geometria em um modelo estéreo orientado. Fonte: Adaptado de LINDER (2003)

Quando se conhece ou se reconstrói todos os parâmetros geométricos do momento em que as fotos são tomadas, é possível calcular as coordenadas tridimensionais (x, y, z) do ponto P pela configuração das equações dos raios $[P' \rightarrow P]$ e $[P'' \rightarrow P]$, depois calculando o sua interseção. Alterar a altura no ponto P (na superfície) leva a um movimento linear (esquerda-direita) dos pontos P' e P'' dentro das fotos ao longo de linhas epipolares.

3.2.3.1 Histórico da fotogrametria

É evidente que o desenvolvimento da fotogrametria passa, obrigatoriamente, pelo desenvolvimento geral da ciência e tecnologia. Porém, os eventos que permitiram o desenvolvimento e estado da arte atual da fotogrametria datam de muito antes do invento da fotografia. Em 350 A.C., Aristóteles mencionava acerca de como projetar imagens por meio ótico. Em 1490, Leonardo da Vinci descreve detalhadamente os princípios subjacentes à câmera obscura (literalmente sala escura), sendo o protótipo demonstrado na Figura 11. E, em 1492, ele demonstrou graficamente os princípios da aerodinâmica e da projeção ótica. Projetou, ainda, mecanismos para o polímero de lentes (TOMMASELLI, 2009; ESTES & HEMPHILL, 2003).

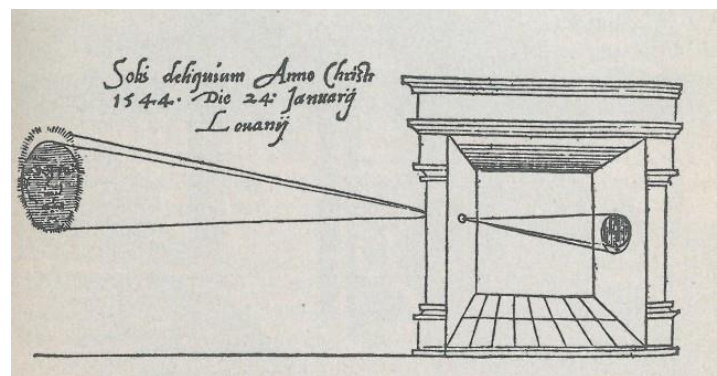


Figura 11. Primeira imagem da câmera obscura. Fonte: https://howlingpixel.com/wiki/Camera_obscura

Oitenta anos depois, Friedrich Risner, um matemático alemão de Hersfeld, foi o primeiro a propor a ideia de uma câmera obscura portátil (Figura 12), que supostamente deveria ser usada como um auxílio na criação de obras artísticas. Ele fez imagens topográficas usando uma câmera obscura miniaturizada e móvel.

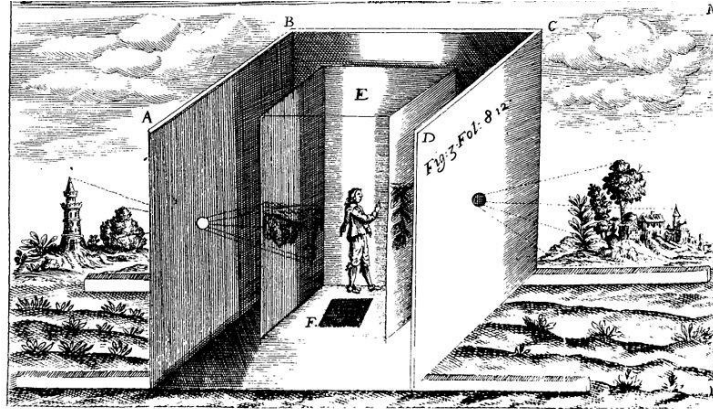


Figura 12. Ilustração da câmera obscura “portátil” (semelhante à proposta de Risner) Fonte:

https://howlingpixel.com/wiki/Camera_obscura

Desde então, vários matemáticos, físicos, astrônomos, dentre outros cientistas, em sucessivos eventos, descobertas e aperfeiçoamentos obtiveram diferentes modelos de câmera obscura até o século XIX (Figura 13).

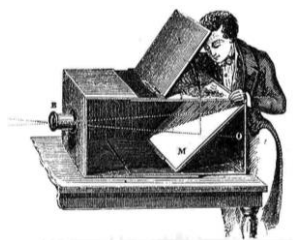
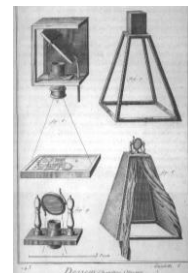
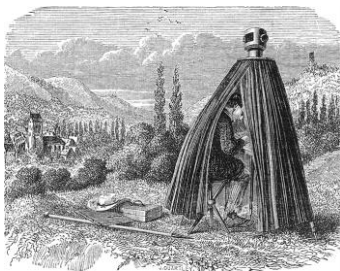


Figura 13. Diferentes modelos de câmera obscura portátil. Fonte:

https://howlingpixel.com/wiki/Camera_obscura

Em 1827, se tem o primeiro registro (foto), por Joseph Nicephore Niepce, da natureza a partir de uma câmara obscura e uma emulsão usando betume da Judéia, uma substância de resina e óleo de lavanda. Esse processo levou 8 horas em luz solar brilhante para ser produzido. Dez anos mais tarde, foi inventado o “Daguerreotype”, por Louis M. Daguerre, que consistiu em uma placa de prata polida, vapor de mercúrio e tiosulfato de sódio ("hypo") que foi usado para consertar a imagem e torná-la permanente. No mesmo ano, William Henry Fox Talbot, inventa um novo método de fotografia, sendo um sistema de imagem em nitrato de prata de papel tratado com cromato de prata e usando uma solução fixadora de cloreto de sódio (Figura 14) (LOCH & LAPOLLI, 1998; SANDLER, 2002; ESTES & HEMPHILL, 2003).



Joseph Nicéphore Niépce. Fonte:

<https://www.britannica.com/biography/Nicéphore-Niépce>



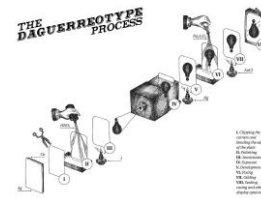
Primeiro registro (foto). Fonte:

<https://ecah.iafor.org/dvteam/testimonies-light-photography-witnessing-history/joseph-nicéphore-niépce-first-photograph/>



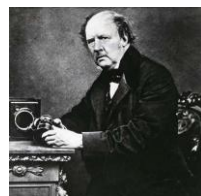
Página do manual de Louis Daguerre. Fonte:

https://en.wikipedia.org/wiki/Daguerreotype#/media/File:Daguerre_Manual,_1839_-_title_pages.jpg



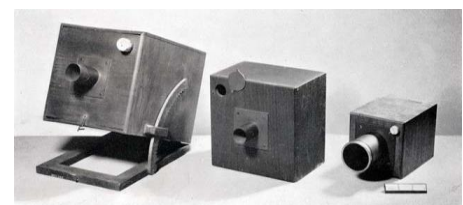
Processo do “Daguerreotype”. Fonte:

https://en.wikipedia.org/wiki/Daguerreotype#/media/File:Daguerreotype_process.jpg



William Henry Fox Talbot. Fonte:

<https://www.britannica.com/biography/William-Henry-Fox-Talbot>

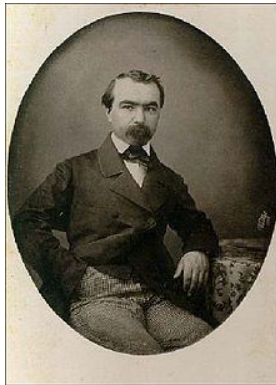


Câmeras usadas por Talbot. Fonte:

http://www.edinphoto.org.uk/1_P/1_photographers_talbot_smm_cameras_1840-1842.htm

Figura 14. Imagens dos inventores da fotografia e suas obras.

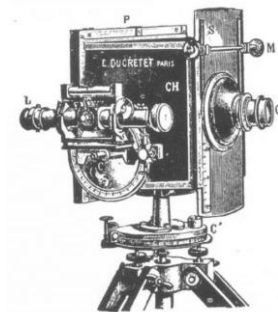
Talbot ainda descobriria mais tarde que a imagem latente poderia ser desenvolvida em uma solução de ácido gálico, tendo sido a primeira pessoa a utilizar um processo negativo-positivo “*calotype*”, constituindo a base para a fotografia moderna. Na mesma década de 30, foi criado o estereoscópio (SANDLER, 2002; ESTES & HEMPHILL, 2003). Em 1844, o Francês e engenheiro militar, Aimé Laussedat, constrói a primeira câmara fotogramétrica, idealizando o método de aplicação desta câmara em trabalhos topográficos (Figura 15). Ele fez os primeiros registros (fotos aéreas) a bordo de um balão, desenvolvendo mais tarde os primeiros princípios e técnicas fotogramétricos (LOCH & LAPOLLI, 1998; COELHO & BRITO, 2007).



Aimé Laussedat. Fonte:

https://de.wikipedia.org/wiki/Aim%C3%A9_Laussedat

at



Fototeodolito de Aimé Laussedat. Fonte:

*Espartel (1978) apud da Silva (2015).

https://www.researchgate.net/publication/315956116_Evolucao_da_Fotogrametria_no_Brasil/figures

ures

Figura 15. Foto do “pai da fotogrametria” e seu fototeodolito.

Em 1863, ele apresentou um trabalho intitulado: “Erros prováveis que resultam nos planos topográficos deduzidos das perspectivas fotográficas”, com o qual recebeu o título de “pai da fotogrametria”, pela academia de Ciências Exatas Física e Naturais de Madri. Além disso, ele estudou o uso de fototeodolitos, instrumentos utilizados em fotogrametria terrestre. Somente em 1889 surge o primeiro livro teórico desta jovem ciência, publicado pelo professor alemão C. Koppe (LOCH & LAPOLLI, 1998; COELHO & BRITO, 2007).

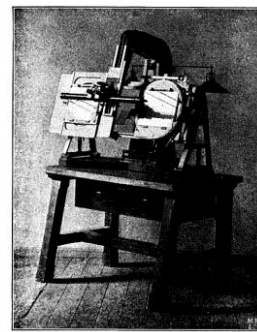
*ESPARTEL, LÉLIS. Topografia. Porto Alegre: Editora Globo. 655 p. il. 1973.

Já no início do século XX, em 1901, Carl Pulfrich fez a proposição de emprego da fotogrametria nos levantamentos fotográficos, seguido da apresentação de um aparelho para medir a paralaxe em “x” e “y”, conhecido por Estereocomparador Pulfrich (Figura 16). Com a invenção do avião foram obtidas, também, as primeiras fotografias a bordo de um avião ainda na mesma década. Em 1913, foram tomadas as primeiras imagens com a finalidade de mapeamento, a partir de um avião. Sete anos mais tarde, nos Estados Unidos, foi utilizado pela primeira vez uma fotografia aérea em geologia (LOCH & LAPOLLI, 1998).



Carl Pulfrich em 1889. Fonte:

https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Pulfrich#/media/File:Carl_Pulfrich.JPG



Estereocomparador Pulfrich. Fonte:

<https://artefactualblog.files.wordpress.com/2014/12/pulfrich-stereo-comparator-1904.jpg>

Figura 16. Imagem de Carl Pulfrich (1889) e seu estereocomparador.

Em 1923, foi inventado o primeiro aparelho restituidor de fotos (estereoplanígrafo), por Otto Von Gruber (Figura 17), sendo que o invento foi apresentado 11 anos mais tarde. Desde então, novos levantamentos e mapeamentos foram realizados em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil, com a criação do estereógrafo de roldanas, idealizado por Emílio Wolf, por meio do qual foram confeccionadas muitas cartas topográficas brasileiras (LOCH & LAPOLLI, 1998).

Assim, no início do século XX, iniciou-se a primeira fase da fotogrametria, que é chamada de **fotogrametria Analógica**. Foi uma fase marcada especialmente por meio mecânico óptico puro, onde os instrumentos de medição eram grandes, complicados e caros. Outro detalhe é que esses instrumentos só poderiam ser manuseados por profissionais com muita experiência, onde não somente a

orientação das fotos, mas também a medição e o mapeamento eram realizados mecanicamente (LINDER, 2003). A partir de então, inúmeros aparelhos, sobretudo os suíços e alemães, como os restituidores Wild, Zeiss (Figura 8) e Kern possibilitavam a obtenção de cartas topográficas a precisões surpreendentes (BRITO & COELHO, 2002).



Otto Von Gruber. Fonte:

<http://www.isprs.org/society/awards/gruber.aspx>



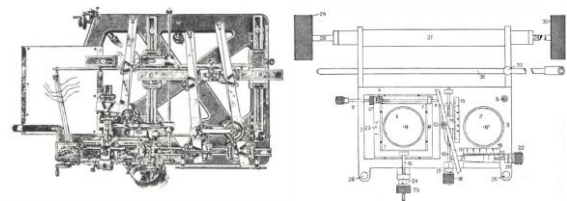
Estereoplanígrafo Zeiss C8. Fonte:

http://cdp.upm.es/view/action/nmets.do?DOCCHOICE=510033.xml&dvs=1503606698376~278&locale=pt_BR&search_terms=&adjacency=&VIEWER_URL=/view/action/nmets.do?&DELIVERY_RULE_ID=1&divType=&usePid1=true&usePid2=true



Restituidor Wild A7. Fonte:

http://cdp.upm.es/view/action/nmets.do?DOCCHOICE=509928.xml&dvs=1503606695616~70&locale=pt_BR&search_terms=&adjacency=&VIEWER_URL=/view/action/nmets.do?&DELIVERY_RULE_ID=1&divType=&usePid1=true&usePid2=true



Estereoautógrafo de Von Orel-Zeiss e Estereógrafo Wolf. Fonte: *Espartel (1978); Jordan (1944) e Mesquita (1958) apud da Silva (2015). https://www.researchgate.net/publication/315956116_Evolucao_da_Fotogrametria_no_Brasil/figures

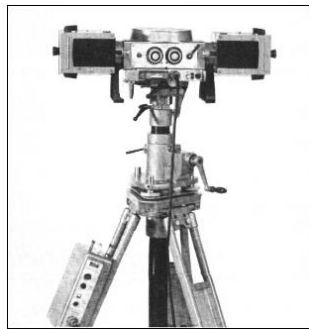
Figura 17. Imagem de Otto Von Gruber e instrumentos restituidores de fotos.

*ESPARTEL, LÉLIS. Topografia. Porto Alegre: Editora Globo. 655 p. il. 1973.

JORDAN, W. Tratado General de Topografia Tomo II. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A. 1944.

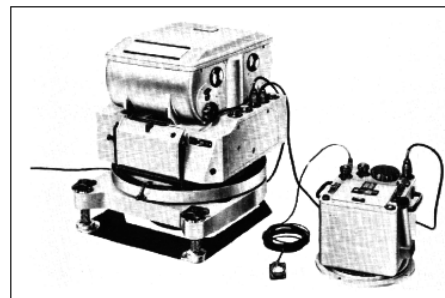
MESQUITA, PAULO FERRAZ. Curso de Topografia, 2ª ed. (mimeografado). São Paulo: Escola Politécnica da USP. 489 p. il. 1950

Paralelamente a estes inventos, surgiram câmeras cada vez mais específicas para esta tarefa, chamadas de câmeras métricas, que possuíam dispositivos para inserir informações relevantes nas fotos sobre o sistema de coordenadas de imagem, melhorando ainda mais a precisão das medições realizadas. Um modelo disso são as marcas fiduciais (Figura 18), que todas as fotos possuem e cujas coordenadas no sistema fotográfico são determinadas em laboratório (BRITO & COELHO, 2002).



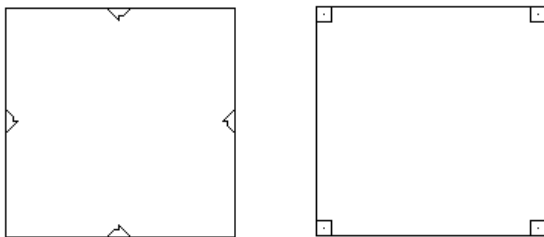
Câmera métrica terrestre. Fonte:

[http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia\(13\).htm](http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia(13).htm)



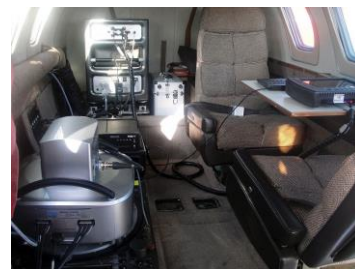
Câmera aérea. Fonte:

[http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia\(13\).htm](http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia(13).htm)



Marcas fiduciais. Fonte:

[http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia\(13\).htm](http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia(13).htm)



Câmara aérea acoplada ao avião. Fonte:

<http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/ProduccionCartografica/Fotogrametria>

Figura 18. Câmeras métricas e marcas fiduciais.

Outro fato importante deste período foi a criação e fortalecimento de inúmeras associações e entidades ligados a fotogrametria, agregando aqueles que tinham interesse na área. Um exemplo disso foi a International Society for Photogrammetry (ISB), que devido aos conflitos e transformações na área, passou a se chamar International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), que foi fundada em 1910, por E. Dolezal, na Áustria (BRITO & COELHO, 2002).

Com o advento dos computadores, na década de cinquenta a fotogrametria passou para a sua segunda fase, chamada de **fotogrametria analítica**, onde a reconstrução deixou de ser analógica e passou a ser realizada por meio de algoritmos computacionais, onde as formulas com seus parâmetros (coeficientes) passaram a ser calculados e armazenados no computador. Houve então uma redução significativa no tamanho dos equipamentos, permitindo maior facilidade no manuseio e redução do custo operacional (LINDER, 2003).

O equipamento passou a ter contadores de impulsos lineares e de rotação para registrar as coordenadas por hardware, incluindo servo motores pra dar a capacidade de posicionar as fotos diretamente no computador. Apesar do avanço computacional, os trabalhos ainda eram realizados com fotos reais (analógicas), sendo, ainda, necessária alta precisão mecânica e peça ótica, chamada de plotter analítico (LINDER, 2003).

Em 1953, foi realizado o primeiro trabalho nesta área, pelo Dr. Helmut Schmidt, do Laboratório de Pesquisa Balística, nos Estados Unidos, onde as bases da fotogrametria analítica foram estabelecidas. Incluiu-se nesse processo o tratamento matricial, as soluções por quadrados mínimos, a solução simultânea a partir de várias imagens e uma análise completa de propagação de erros (BRITO & COELHO, 2002).

A partir dos anos oitenta, a potência dos computadores cresceu em uma velocidade considerável, permitindo o uso de imagens digitais como fonte primária de dados, dando início a terceira fase da fotogrametria, chamada de **fotogrametria digital**. A imagem digital pode ser adquirida diretamente de câmeras digitais ou de imagens analógicas submetidas a um scanner especial, sendo este o único hardware periférico especial. Haja vista que centenas de Câmeras aéreas “clássicas” ainda se encontram em uso devido o alto custo das câmeras digitais (BRITO & COELHO, 2002; LINDER, 2003).

O processamento se dá de maneira semelhante à analítica, possibilitando a criação de produtos digitais, como cartas digitais, que precisam de processamento computacional extremamente elaborado, ou seja, automação de processos fotogramétricos, como ortoimagens ou imagens ortorretificadas (Figura 19) e mosaicos digitais que nada mais é que a junção de várias imagens. Atualmente, os

aparelhos utilizados sofreram mudanças e são chamados de estações fotogramétricas (BRITO & COELHO, 2002).



Câmera aérea digital. Fonte:

<http://www.topoequipos.com/topoequipos2.0/norte/ultracamx>



Ortofotocartas. Fonte:

<http://www.aeroimagem.com/v2/produtos-e-servicos/lev-aerofotogrametricos.html>

Figura 19. Câmera aérea digital e ortofotocarta.

Desse modo, Schenk (2005) aborda que é interessante notar que as fases e avanços da fotogrametria estão diretamente relacionados às invenções tecnológicas: fotografia, avião, computador e eletrônica. Para ele, ao invés de três fases, existem 4 fases, como descrito abaixo:

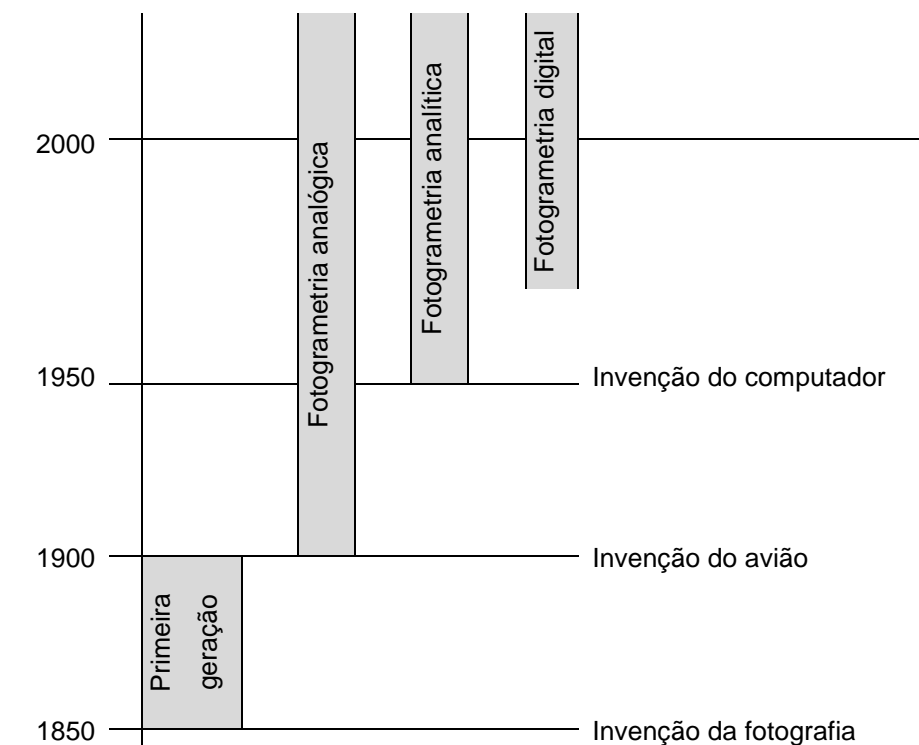


Figura 20. Fases da fotogrametria. Fonte: Adaptado de Schenk (2005).

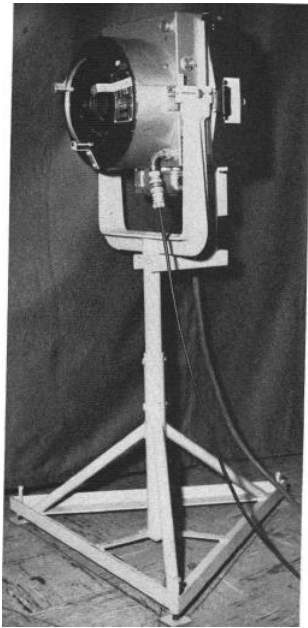
Brito e Coelho (2002), resumem o histórico da fotogrametria de acordo com a entrada, processamento e saída, da seguinte forma:

Tabela 2. Histórico da fotogrametria. Fonte: Brito e Coelho (2002).

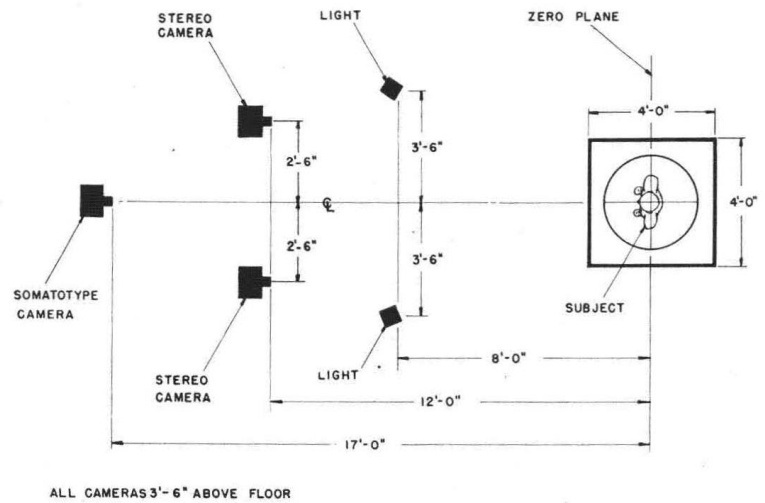
Fotogrametria	Entrada	Processamento	Saída
Analógica	Foto analógica (em filme)	Analógico (opto-mecânico)	Analógica (scribes/fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo), no presente.
Analítica	Foto analógica (em filme)	Analítico (computacional)	Analógica (scribes/fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo), no presente.
Digital	Imagem digital (obtida de câmera digital, por exemplo) ou digitalizada (foto analógica submetida a um scanner)	Analítico (computacional)	Digital

3.2.3.2. Fotogrametria como ferramenta de medição de área de superfície em animais

Com base no histórico da fotogrametria, é possível observar que por mais de um século, o homem realizou medidas e desenhou mapas, bem como aprofundou o conhecimento no assunto, tendo como aplicação básica os levantamentos topográficos. Hertzberg et al. (1956) descreveu um método de mapear com acurácia as dimensões e curvaturas do corpo humano, utilizando técnicas de estereofotogrametria similares às empregadas em mapeamento de paisagens por fotografia aérea. Utilizando equipamentos da prática convencional de fotogrametria, posicionou-se três câmeras aéreas e iluminação em distâncias fixas para obtenção das medidas (Figura 21).



Câmera aérea K-17



Posição das câmeras e sistema

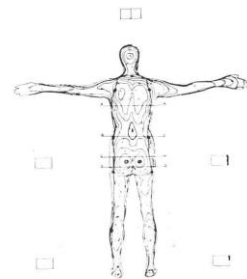
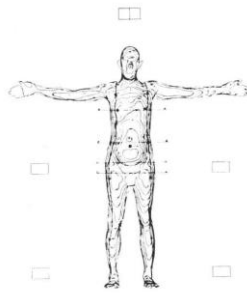
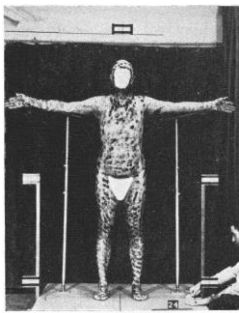


Figura 21. Sistema de medições por estéreo fotogrametria em humanos. Fonte: Hertzberg et al. (1956)

Berner (1954) também descreve um novo método para o cálculo de área de superfície por fotogrametria. A partir de então uma série de trabalhos foram realizados no intuito de reduzir o custo de aplicação dessa ferramenta, haja vista o seu potencial, como é o caso do trabalho de Pierson (1963), onde ele usou a monofotogrametria como forma de reduzir o custo operacional. Com o advento da fotogrametria digital e o acesso a tecnologia outros trabalhos foram realizados em diferentes espécies (MINAGAWA, 1994; 1995; BURANAKARL et al. 2012; Daanen & van de Water, 1998).

3.2.4 Escaneamento por sensor Microsoft® kinect®

A partir do desenvolvimento e aprimoramento dos computadores, os jogos e videogames, passaram de simples atrativos para plataformas de inovação interativa e realística, o que só foi possível devido aos avanços em componentes como processadores, memórias RAM (Random Access Memory/Memória de Acesso Aleatória) e placas de vídeos, o que desencadeou na melhoria significativa da computação gráfica, chegando ao desenvolvimento de sensores de locomoção como o kinect® da Microsoft®.

3.2.4.1. Histórico do sensor Microsoft® kinect®

A ideia nascia ou era exposto, basicamente, no palco da conferência D5, em maio de 2007, a partir das discussões entre Bill Gates, presidente da Microsoft, e Steve Jobs, cofundador das empresas Apple e CEO, sobre uma forma de controle baseado em câmera para jogos, onde as pessoas pudessem usar objetos do mundo real como bastões de beisebol e raquetes de tênis para controlar o que está acontecendo na tela (LOWENSOHN, 2011).

Após dois anos de trabalho e rumores sobre o tema, em 12 de maio de 2009, o *“Wall Street Journal”* anuncia que a Microsoft planejava revelar uma nova câmera de vídeo que permitia aos usuários controlar jogos com a superfície de seus corpos. No primeiro dia do mês seguinte, a Microsoft anuncia o “Projeto Natal” em sua conferência de imprensa anual, E3 2009 (Electronic Entertainment Expo), apresentando as primeiras demonstrações da tecnologia em ação (LOWENSOHN, 2011; CRUZ et al., 2012).

O nome do projeto “Natal” foi uma referência à cidade brasileira Natal, já que um dos diretores do projeto (Alex Kipman) é brasileiro e escolheu o nome da cidade que significa ‘nascimento’, em latim. Ainda julho de 2009, o presidente da Microsoft relata que os controles baseados em gestos poderão eventualmente funcionar em computadores pessoais (CRUZ et al., 2012).

Em maio de 2010, a Microsoft anuncia que o “Projeto Natal” passa a ser chamado de “kinect”. Em julho, a Microsoft dá preço e data de lançamento do kinect.

Em 04 de novembro de 2010, o kinect é lançado na América do Norte. E, quase imediatamente, a *Adafruit industries* oferece uma recompensa de mil dólares para a primeira pessoa que conseguir descobrir como construir um driver de código aberto para isso. A Microsoft rebate e responde que não aceita modificação de seus produtos bem como que o hardware possui salvaguardas integradas de hardware e software para evitar tais customizações. Porém, o valor foi aumentado e em 10 de novembro um hacker, chamado Hector, ganha o concurso. No mesmo mês, o kinect é lançado na Europa, Austrália e Japão (LOWENSOHN, 2011; CRUZ et al., 2012).

Cruz et al. (2012), relata que Hector Martin tornou seu código “*libfreenect*” aberto e o disponibilizou no Github, sendo que o compromisso inicial para o “OpenKinect” / “libfreenect” foi feito em 10 de novembro de 2010. Em torno de um mês depois, em 9 de dezembro, a PrimeSense, fabricante do modelo de referência de câmera PrimeSensor, usado pela Microsoft para criar o kinect, reconhece o interesse e as conquistas da comunidade de código aberto e decidiu abrir seu próprio driver e framework API (OpenNI) e para liberar binários para o seu módulo de rastreamento esquelético NITE e outras aplicações.

EM fevereiro de 2011, a Microsoft já anunciava planos de lançar um kit de desenvolvimento de software para o kinect em máquinas com o sistema operacional Windows®, com o lançamento não comercial formal do SDK – Software Development Kit (LOWENSOHN, 2011). Em maio de 2012, foi lançada uma versão do kinect para Windows 1.5 (CRUZ et al., 2012).

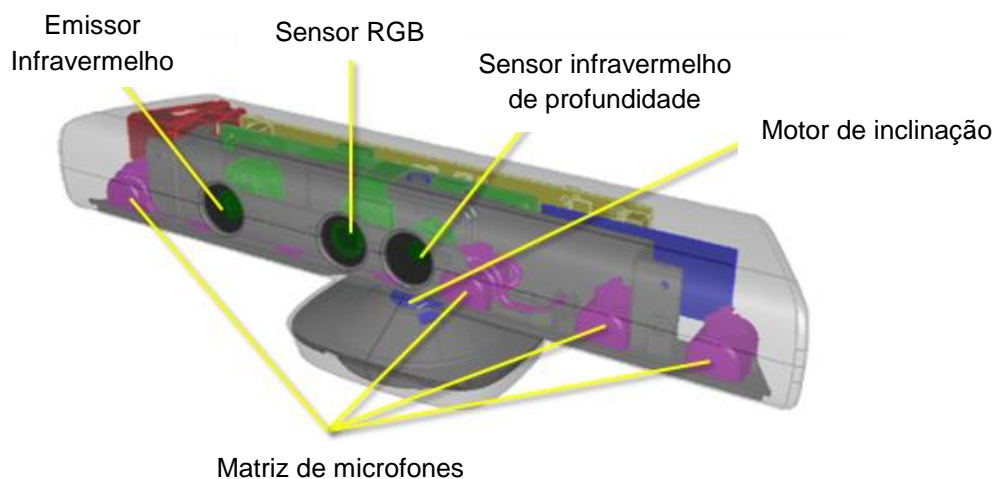
Inicialmente, a função principal do kinect foi ser uma ferramenta de interação entre o usuário e o Xbox através de comandos por gestos e fala. Por essa razão é que o sensor é capaz de capturar dados em 640x480 pixels em 30Hz. Mas desde que foi apresentado ele se tornou um dispositivo amplamente usado na indústria (jogos, robótica, etc.) e pesquisas (CRUZ et al., 2012).

3.2.4.2. Especificações técnicas do kinect

A tecnologia inicial de software do kinect foi desenvolvida pela Rare, uma subsidiária da Microsoft Game Studio, enquanto a tecnologia de câmera foi pela desenvolvedora israelense PrimeSense. O kinect possui um sensor de profundidade,

uma câmera RGB (color sensor), um acelerômetro, um motor e um microfone multi-array (Figura 22). O sensor de profundidade consiste de um emissor de laser infravermelho e uma câmera infravermelha. As medições de profundidades são feitas usando a técnica de luz estruturada, ou seja, o emissor de laser cria um ruído padrão conhecido de luz infravermelha estruturada. Então, a partir desse padrão de pixels projetados sobre uma cena, se captura a deformação da projeção, o que permite medir as distâncias dos pixels (profundidade) (CRUZ, et al., 2012; YAMADA et al., 2012).

A câmera e o emissor infravermelho funcionam a 30Hz e empurram imagens em 1280x960 pixels. Porém, as imagens são amostradas com resolução de 640x480 pixels, ou seja, a cada frame é gerada uma nuvem de pontos que possui 307200 pontos e com 11 bits, o que fornece 2048 níveis de sensibilidade. Para que esses dados do kinect (profundidade, RGB, som e acelerômetro) sejam transferidos para o computador é necessário, pelo menos, uma porta USB 2.0 (kinect v1) e USB 3.0 (kinect v2). Como a porta USB 2.0 tem uma pequena taxa de transferência, esses dados requerem cerca de 70% do hub único para transmitir seus dados, sendo por esse motivo que não é possível usar simultaneamente dois kinects no mesmo hub. (CRUZ, et al., 2012; YAMADA et al., 2012).



Fonte: Adaptado da Microsoft (<https://msdn.microsoft.com/library/jj131033.aspx>)

Figura 22. Partes do kinect

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e animais de estudo

O uso dos animais foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA da Unesp, campus de Jaboticabal-SP, sob o número 16.628/16. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Bioclimatologia Animal e na arena/curral do setor de digestibilidade da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, campus Jaboticabal – SP. Seis ovinos Corriedale (*Ovis aries*) tosqueados pesando entre 10,5 e 102 kg (dois reprodutores, um macho jovem, um macho borrego e duas fêmeas jovens), bem como cinco bovinos machos inteiros da raça Nelore (*Bos taurus*), pesando entre 600 e 800 kg, foram usados para validar o uso de modelagem tridimensional para obtenção de área de superfície.

Os animais foram treinados utilizando os princípios de habituação e condicionamento. Para o presente trabalho, os animais foram conduzidos ao tronco de contenção, onde se colocou o cabresto. Ao sair do tronco de contenção o animal foi preso, via cabresto, a um mourão por meio de uma corda e uma simulação das fotos foi realizada. Após esse procedimento foi ofertado concentrado como reforço positivo (CAMERRO et. al., 2016).

Para captura das imagens, foi aplicada uma subdose do pré-anestésico Acepran 1% para ovinos e xilazina para bovinos, a fim de reduzir a reatividade dos animais. O protocolo foi estabelecido, segundo a recomendação de um médico veterinário habilitado e especialista em anestesiologia, como segue: 1. Os animais utilizados naquele dia ficavam em jejum por 24h; 2. Para bovinos, o mesmo foi conduzido ao tronco e aplicada a subdose de xilazina de 0,03 mg/kg, enquanto que para os ovinos, a subdose foi de 0,03mg/kg de acepran.

Antes da captação das imagens, os animais eram previamente pesados em uma balança digital e, durante o efeito do pré-anestésico, as imagens foram obtidas com o animal contido por uma corda fixa ao cabresto. Com os ovinos, o trabalho foi realizado em 10 dias, já para os bovinos, o procedimento foi realizado, em aproximadamente 40 dias de coleta.

4.2 Medidas por equações empíricas

Para estimar a área de bovinos Nelore, por equação empírica, adotou-se como referência a utilizada por Finch (1985), onde a mesma apresenta um valor médio de coeficiente “a”, descrita por:

$$A = 0,14 \cdot M^{0.556} \quad [4]$$

Enquanto que para ovinos Corriedale, a estimativa da área de superfície foi realizada conforme a equação descrita por Bennett (1973):

$$A = 0,171 \cdot M^{0.503} \quad [5]$$

Onde A é a área de superfície e M é a massa corporal, em kg.

4.3 Medidas por instrumento (direta) e molde parcial

Com base no trabalho de Brody & Elting (1926), foi desenvolvido um instrumento de tomada de medidas diretamente no animal. O instrumento foi desenvolvido em madeira e consistiu em um cilindro conectado a contador e este, por sua vez, conectado a uma calculadora para computar o número de voltas (Figura 23). Foram instalados, no cilindro, quatro pontos, dividindo uma volta em quatro partes, ou seja, a cada vez que contador era acionado se computava 0,25 (1/4) voltas.

Foi realizada uma delimitação inicial na parte central superior do animal, por onde se iniciou a condução do IMM sobre a superfície do animal. O equipamento foi passado sobre as regiões da cabeça, pescoço e corpo (Figura 23). Ao término desse processo, o número de voltas foi multiplicado pela área de uma volta do cilindro. Para regiões como pernas, focinho, orelhas e testículos (machos), utilizou-se uma fita adesiva tipo crepe branco, perfazendo toda a área dessas partes. Em seguida, com o auxílio de uma tesoura cortou-se o molde em um segmento que permitiu a retirada do mesmo.

O molde foi recortado em partes menores, planejado e disposto em uma folha A4, onde foi escaneado e a medição realizada pela soma da área das fitas planejadas no papel. A área obtida com o IMM foi adicionada a área resultante dos moldes e obtida a área total da superfície dos animais. Para bovinos, esse processo,

por completo, foi realizado uma única vez como medida de referência, devido à dificuldade de manejo.

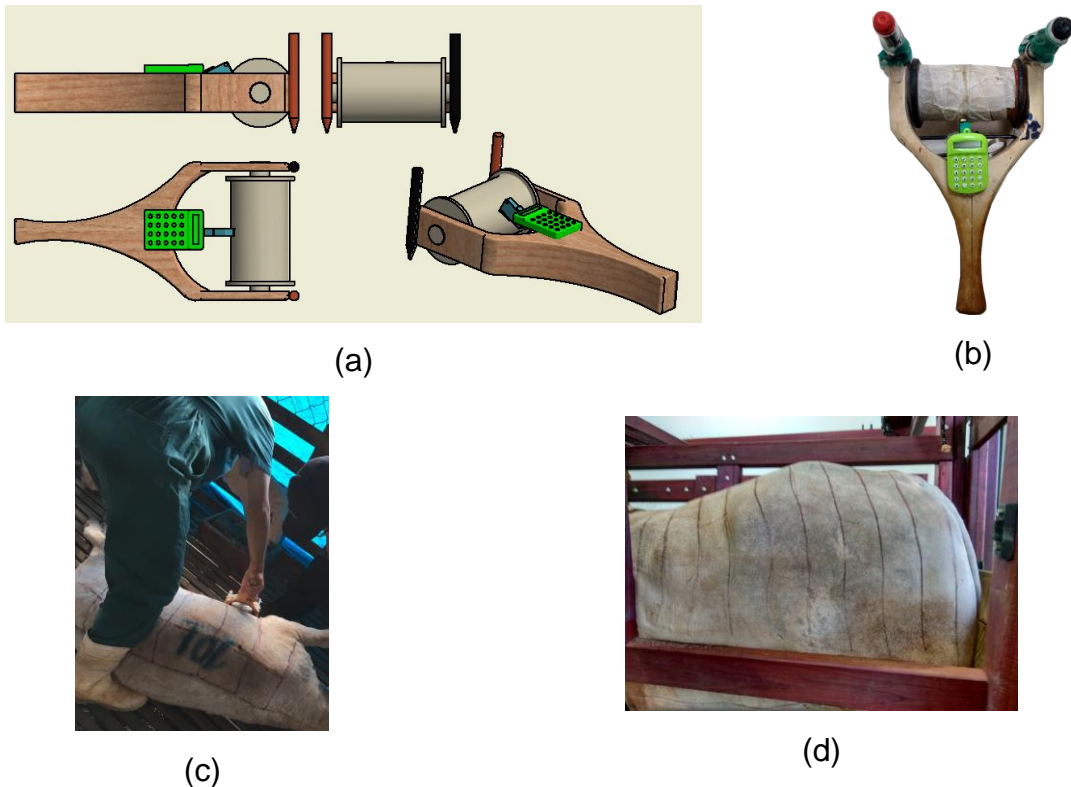


Figura 23. Instrumento Manual de Medição (IMM) de área de superfície. (a) Projeto do instrumento; (b) Instrumento confeccionado; (c) Medição com instrumento em ovinos; (d) Medição com instrumento em bovinos nelore. Fonte: O autor.

4.4. Medidas por modelagem tridimensional (3D)

Atualmente existe uma quantidade significativa de softwares pagos e livres para processamento e reconstrução tridimensional por fotogrametria, bem como diferentes softwares e escâneres comerciais de modelagem 3D. Baseado nos resultados e experimentos pilotos realizados por Simão e Maia (2016), foram definidos dois métodos de modelagem 3D, um por fotogrametria, com o uso do software Autodesk REMAKE®, através de uma licença estudante e o segundo foi o escaneamento pelo sensor Microsoft Kinect® com o software Artec Studio 11®, licença comercial cedida pela ARTEC3D, em parceria, para esta finalidade.

4.4.1. Fotogrametria Digital: Software Autodesk Remake® (AR)

Para a aquisição de imagens (fotos) foi utilizado a câmera de um celular, MotoG 2ª geração, com as especificações: câmera de oito megapixels e resolução máxima de 3264 x 2448 pixels. O procedimento de captura das imagens foi da seguinte forma: após o efeito do pré-anestésico, aproximadamente quarenta minutos, o animal foi colocado sobre uma placa de cimento e as fotos foram realizadas em pelo menos três voltas ao redor do animal em diferentes posições (inferior, mediana e superior), a fim de obter a maior quantidade de angulações e permitir uma boa triangulação (Figuras 24 e 25).

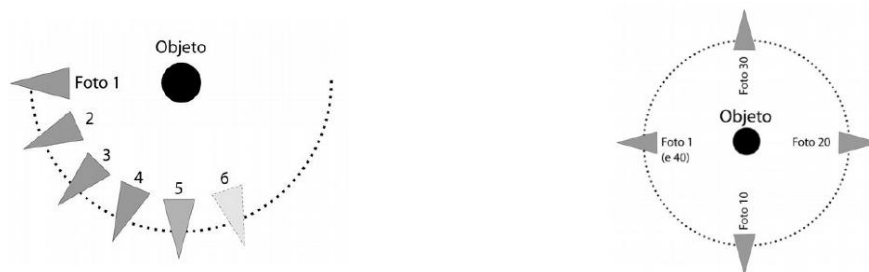


Figura 24. Plano de captura de imagens em volta do objeto, fonte Moraes & Miamoto, 2015.

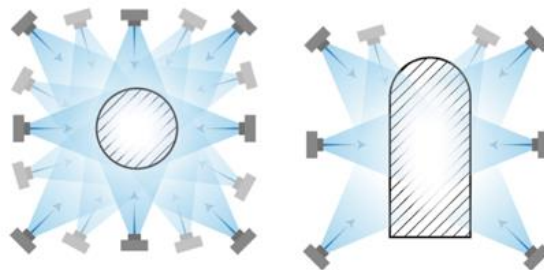


Figura 25. Plano de captura de imagens em diferentes posições, fonte BETWEEN THE LINES, 2016

Foram obtidas mais de cem imagens de cada animal para obtenção de modelos detalhados. As imagens foram previamente selecionadas (processo visual) de acordo com a qualidade (foco / posição / etc.). Então, elas foram importadas para o software clicando no ícone “Create 3D – photos”, em seguida, clicando em “online”, depois em “Local Drive”. Quando as fotos foram carregadas no software, clicou-se

em “create model” e as mesmas foram processadas na nuvem e a reconstrução 3D foi obtida pela nuvem de pontos (triangulação) das imagens utilizadas (Figura 26).



Figura 26. Processamento de imagens no Autodesk REMAKE®.

Após a obtenção do modelo 3D, procedeu-se a calibração do modelo. Os animais foram previamente marcados e/ou colocou-se um objeto ou marcação no chão com medidas conhecidas. A partir do modelo 3D disponível, utilizou-se a

ferramenta “measure distance” para medir a marcação previamente estabelecida. Assim, se o valor encontrado fosse diferente do determinado, seria usado uma escala de redução ou ampliação a partir de “model settings”, opção “set scale and units”.

A partir do modelo calibrado e as medidas corretas, foram retiradas as partes que não pertenciam ao animal, como solo, curral, etc., bem como foi realizada a detecção de defeitos e corrigidas. Nesse momento, o modelo 3D estava disponível para medições. Clicando em “Analyze” e em “Mesh report”, as informações inerentes ao modelo, como vértices, faces, área de superfície e volume, eram disponibilizadas.

4.4.2. Escaneamento por sensor Microsoft Kinect® e Artec Studio 11® (AS_KS)

Após a instalação o Artec Studio 11®, cujas configurações mínimas recomendadas para sua instalação são: Processador intel i5 ou, preferencialmente, i7; memória RAM de 8GB; porta USB 2.0; placa de vídeo dedicada NVIDIA ou AMD; Windows 7 ou 8, 64bits, o mesmo foi configurado para trabalhar com o sensor Microsoft Kinect v2, cuja configuração recomendada é: Processador com 3,1GHz (ou mais rápido), com 2 núcleos físicos (2 núcleos lógicos por físico) e USB 3.0 com base em chipset Intel ou Renesas.

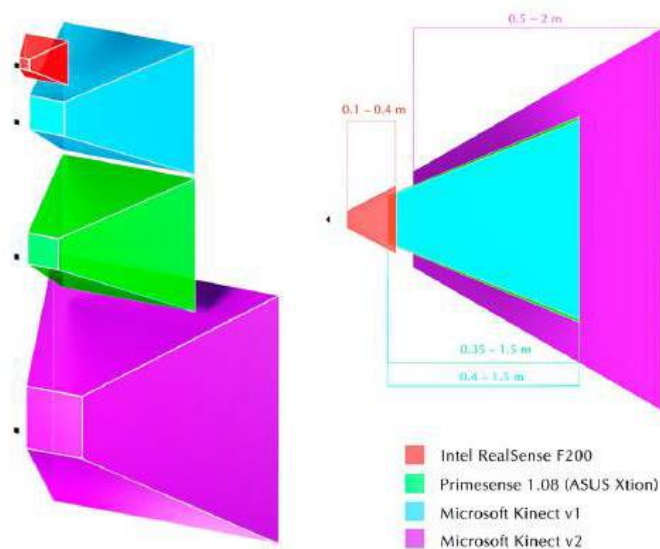


Figura 27. Área de operação e campo de visão de diferentes sensores. Fonte: ARTEC3D (2016)

Optou-se pelo kinect v2 pela sua maior área de operação e campo de visão (Figura 27), bem como por ser mais acessível. Para o adequado funcionamento e conexão do kinect v2 ao computador, o mesmo precisou de um adaptador, cuja fonte de alimentação é via tomada bivolt, sendo que a necessidade de contornar o animal se tornou um fator limitante nesse processo. Desse modo, desenvolveu-se uma estrutura (conjunto) em cano PVC onde se acoplou uma bateria de moto (12V 12 Ah) e um inversor de frequência (conversor 12V para 127V) e o notebook, permitindo que o escaneamento pudesse ser realizado em torno do animal sem limitações (Figura 28).



Figura 28. Sistema de medidas Artec Studio 11® + Sensor Kinect.

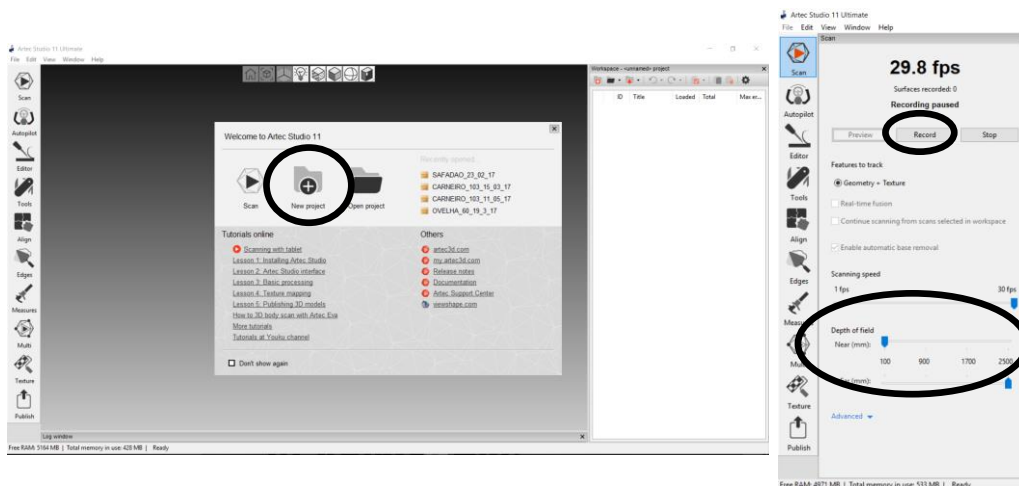


Figura 29. Modo "Scan" e definição do campo de profundidade no software Artec Studio 11®.

Após o efeito do pré-anestésico, kinect conectado ao notebook e o software Artec Studio aberto no modo "Scan", configurado com o campo de profundidade de 1,5m (Figura 29), realizou-se a varredura em torno do animal (Figura 30), perfazendo o escaneamento necessário a obtenção de uma malha de pontos densa

o suficiente para a reconstrução 3D de qualidade (Figura 31). Após o escaneamento, o arquivo com a nuvem de pontos foi salvo e o processamento foi realizado por ambos os métodos, manual e automático (“Autopilot”). Com o modelo 3D obtido, o mesmo foi importado para o Autodesk REMAKE®, onde procedeu-se com a medição de área e volume, como já descrito anteriormente.



Figura 30. Escaneamento com sensor kinect e Artec Studio 11®.

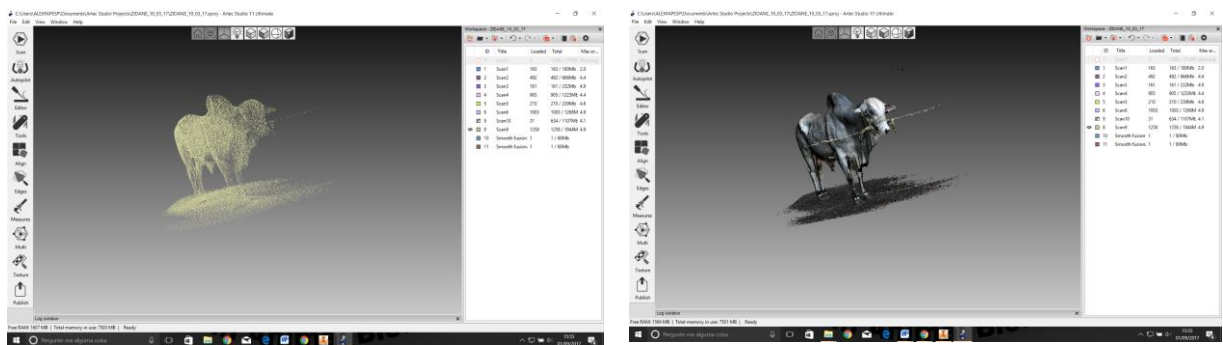


Figura 31. Malha densa de pontos e textura do animal escaneado.

4.5 Análise de dados

Os dados foram analisados pelo método de mínimos quadrados (Harvey, 1960). Para comparar os diferentes procedimentos de estimação da área de superfície, foi realizada uma análise de covariância, onde a massa corporal foi considerada a covariável, conforme os modelos descritos abaixo:

$$Y_{ijk} = \mu + X_{ij} + P_i + A_j + \varepsilon_{ijk} \quad [6]$$

Onde:

Y_{ijk} = Observação da área no procedimento i, animal j e repetição k;

μ = média geral;

X_{ij} = Massa do procedimento i , animal j (covariável);

P_i = i -ésimo procedimento;

A_j = Animal j (1, 2,..., 5)

ε_{ijk} = erro aleatório correspondente à observação da área no procedimento i , animal j e repetição k .

Para os ovinos, os procedimentos testados (P_i) foram: Equação Empírica (EE), medição manual (IMM), fotogrametria (AR) e por scanner (AS_KS). Enquanto que para bovinos, não se utilizou a medição manual. O teste *post-hoc* usado para comparar médias quando houve efeito significativo para o procedimento foi o teste t ajustado.

Para estudar a função de ajuste de dados, uma análise de regressão não linear (função potência) foi realizada para a área de superfície, área de superfície específica (área por unidade de massa), volume e relação área / volume em função da massa, área de superfície e volume.

A correlação de Pearson foi usada para avaliar o grau de correlação entre as variáveis. Os resíduos atenderam os pressupostos da análise (normalidade e homocedasticidade das variâncias). Para todas as análises foi considerado um nível de significância de 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Aplicação em ovinos Corriedale

O resultado da análise de covariância para a variável área de superfície medida por diferentes procedimentos é apresentado na tabela 3. As medidas por modelos 3D, bem como por instrumento manual, em média, foram superiores aqueles observados para a equação desenvolvida por Bennett.

Tabela 3. Área de superfície, em ovinos Corriedale, entre os diferentes procedimentos (média \pm erro padrão da média).

N	EE (Bennett, 1973)	Modelos 3D*		IMM
		AR	AS_KS	
16	1.22 \pm 0,05 b	1.32 \pm 0,04 a	1.35 \pm 0,05 a	1.33 \pm 0,04 a

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade (Teste t ajustado). N = tamanho da amostra; EE = Equação Empírica; AR = Autodesk Remake – Fotogrametria digital; AS_KS = Artec Studio e Kinect Sensor – Scanner; IMM = Instrumento Manual de Medição.

Na Tabela 4 são apresentados os dados de área de superfície e volume obtidos por diferentes métodos (modelos 3D, IMM e EE) para ovinos Corriedale.

Tabela 4. Dados dos ovinos Corriedale

Número do animal	Massa corporal (kg)	Área de superfície (m ²)		Volume (m ³)		IMM	EE (Bennett, 1973)
		AR	AS_KS	AR	AS_KS		
137	10,5	0,4153	0,3990	0,0835	0,081	0,3710	0,5574
122	27,4	-	-	-	-	0,9450	0,9025
60	29,4	0,9117	-	0,0350	-	0,8728	0,9343
60	29,4	0,9014	-	0,0356	-	0,9194	0,9343
60	29,4	0,9205	-	0,0357	-	0,8917	0,9343
120	31,6	0,9895	-	0,0387	-	0,9296	0,9696
120	31,6	1,0179	-	0,0406	-	0,9727	0,9696
119	49,3	1,2833	1,2808	0,0689	0,0695	1,3357	1,2124
119	49,3	1,2811	1,2753	0,0609	0,0694	1,3016	1,2124
119	49,3	-	-	-	-	1,2753	1,2124
101	101,7	-	-	-	-	1,9496	1,7445
101	101,7	-	-	-	-	2,0413	1,7445
101	101,7	-	2,0353	-	0,1321	1,9761	1,7445
103	102,0	2,0034	2,1159	0,1243	0,1356	2,0274	1,7471
103	102,0	-	2,0145	-	0,1260	2,0464	1,7471

103 102,0 - - - - 2,1042 1,7471

- significa que os dados não foram possíveis naquela observação. EE = Equação Empírica; AR = Autodesk Remake – Fotogrametria digital; AS_KS = Artec Studio e Kinect Sensor – Escanner; IMM = Instrumento Manual de Medição.

Na Figura 32 é possível observar modelos ajustados para IMM e modelos 3D em relação à equação determinada por Bennett. Observou-se que dentro da faixa estudada por Bennett, de 23 a 63kg, o desvio máximo observado pela EE foi de aproximadamente 8%, enquanto que para animais acima de 100kg houve um incremento de pelo menos 3%, resultando em um desvio maior que 11%.

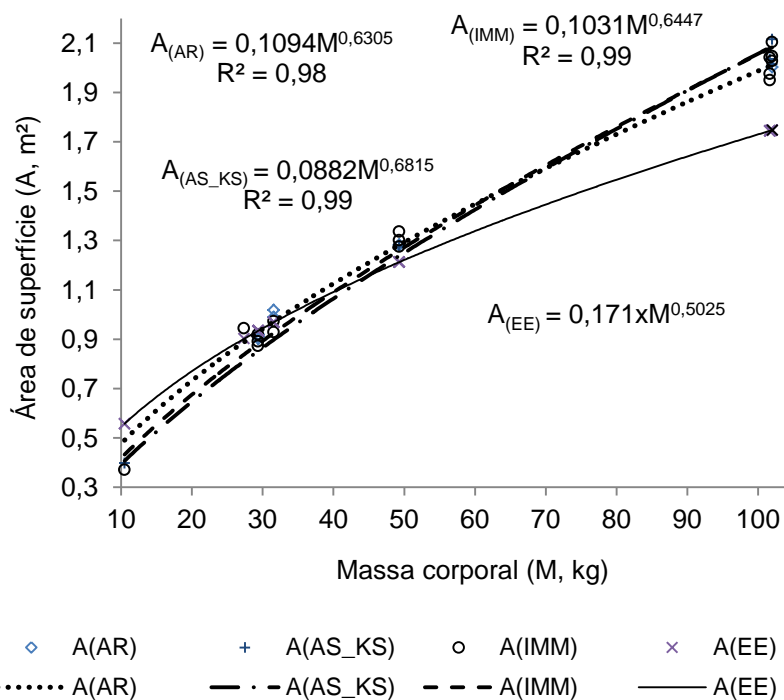


Figura 32. Área de superfície (A) em função da massa corporal, em ovinos Corriedale.

EE = Equação Empírica; AR = Autodesk Remake – Fotogrametria digital; AS_KS = Artec Studio e Kinect Sensor – Escanner; IMM = Instrumento Manual de Medição.

Portanto, uma das razões para esta variação é a amplitude de peso considerado em ambas as situações, já que as implicações das equações de regressão são válidas apenas para aquelas condições estudadas. Outro fator que pode explicar a variação encontrada para as taxas de crescimento da área de superfície é a relação intraespecífica, uma vez que nos estudos analisados foram usadas raças diferentes, apesar de ambas serem ovinos lanados.

Como os ajustes das equações obtidas por modelos 3D e IMM tiveram taxas de crescimento muito próximas e o desvio entre elas foi inferior a 2%, isso pode ser considerado como um indicativo de que o uso de modelos 3D para estimar área de superfície foi ratificado. Na Figura 33 é possível observar o ajuste geométrico obtido para o uso de modelos 3D.

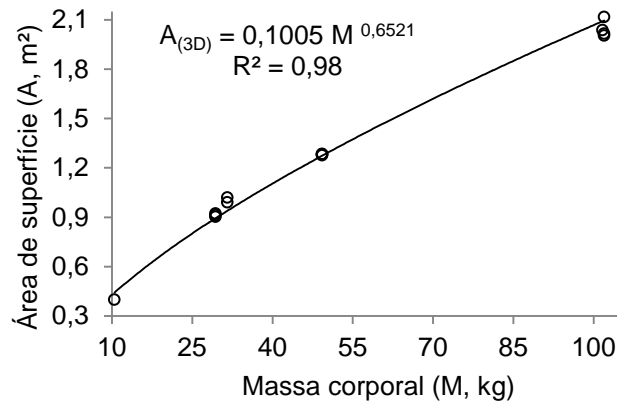


Figura 33. Área de superfície obtida por modelagem 3D em função da massa corporal, em ovinos.

Foi possível observar que a relação entre volume e massa corporal mostrou-se, praticamente, como uma relação isométrica, já que sua taxa foi próxima de 1 (Figura 34a). Enquanto que o volume em função da área de superfície teve um crescimento hiperalométrico, isto é, sua taxa de crescimento foi maior que 1, ou seja, o volume tem um crescimento maior que o da área de superfície (Figura 34b).

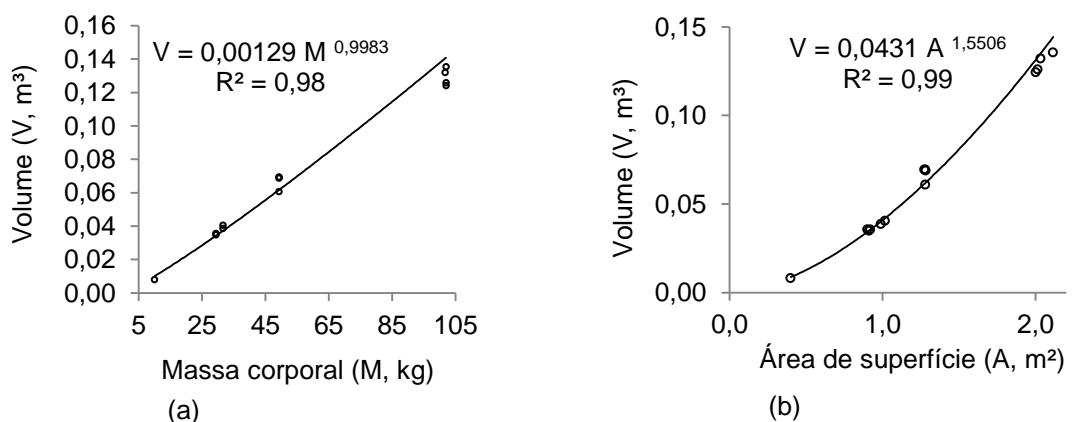


Figura 34. Volume em função da massa corporal (a) e área de superfície (b), em ovinos Corriedale.

Ainda foi estudada a relação área/volume (AV), onde foi possível observar que a razão AV decresceu a uma taxa de 0,5645 em relação à massa corporal (Figura 35). Taxas decrescentes também foram observadas para a área específica em função da massa corporal e do volume do animal (Figuras 36a e 36b). Este comportamento é compatível com aquele descrito na literatura e esta informação é relevante no estudo do equilíbrio térmico, haja vista que o animal realiza suas trocas térmicas com o ambiente através de sua superfície corporal e a medição deste processo pode ser um caminho para estabelecer novos sistemas de conforto térmico animal baseado em modelos seguros.

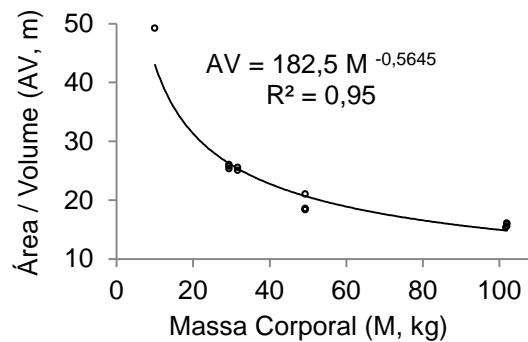


Figura 35. Relação área / volume em função da massa corporal, em ovinos Corriedale.

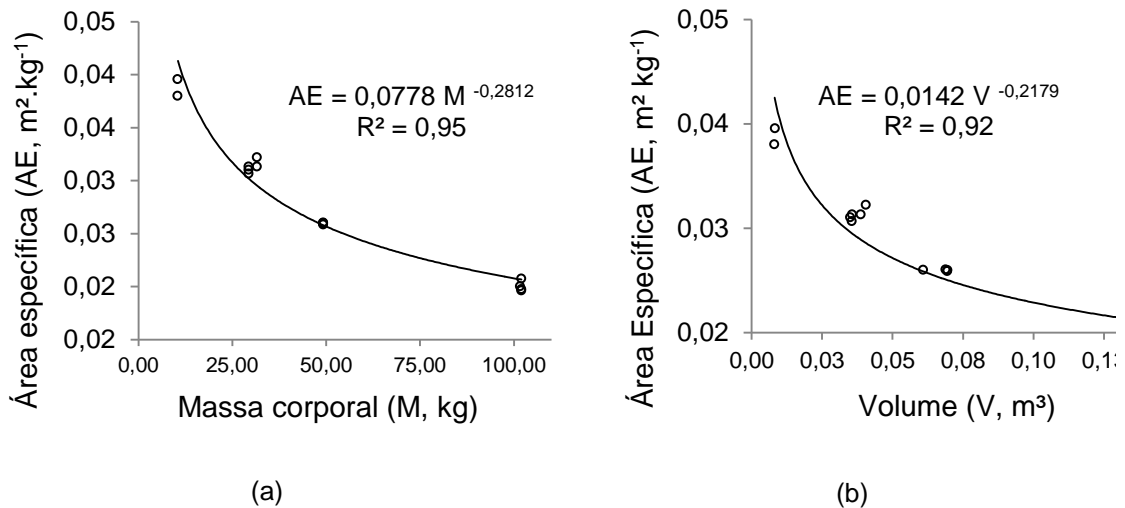


Figura 36. Área específica (área por unidade de massa) em função do volume (a) e da massa corporal (b), em ovinos Corriedale.

5.2 Aplicação em bovinos Nelore

Para um bovino Nelore pesando 643 kg, o valor da área superficial com IMM foi de 6,42 m², enquanto que a fotogrametria (AR) foi de 6,37 m² e a digitalização com o AS_KS foi de 6,34 m². O valor obtido pela equação empírica (EE) foi de 5,10 m². As medidas obtidas por modelos 3D foram consistentes com as medidas no próprio animal (IMM, AR e AS_KS).

A área de superfície em relação aos procedimentos utilizados (modelos 3D x equação empírica) está descrita na tabela 5. Com isso, o valor médio da área de superfície estimada pela equação empírica utilizada por Finch (1985), em média, foi subestimado em mais de 18% quando comparado com os demais métodos utilizados. Na tabela 6 são apresentados os dados de área de superfície e volume obtidos por modelos 3D, bem como os valores de área de superfície para EE, em bovinos Nelore.

Tabela 5. Área de superfície, em bovinos Nelore, entre os diferentes métodos usados (média ± erro padrão da média).

N	EE <small>(Finch, 1985)</small>	Modelos 3D*	
		AR	AS_KS
75	5,20 ± 0,001 b	6,53 ± 0,03 a	6,49 ± 0,03 a

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste t ajustado). N = tamanho da amostra; EE = Equação Empírica; AR = Autodesk Remake – Fotogrametria digital; AS_KS = Artec Studio e Kinect Sensor – Scanner; IMM = Instrumento Manual de Medição.

Com relação aos modelos ajustados, são chamados de função alométrica, uma função potência do tipo $Y = aX^b$, onde “a” e “b” são coeficientes constantes. O valor b representa a taxa de crescimento diferencial entre a superfície e a massa corporal do animal ou entre diferentes partes do organismo. Por exemplo, se esse coeficiente fosse igual a 1, significaria um crescimento isométrico das partes envolvidas. Se ele fosse maior que 1, seria uma relação de hiperalometria, e significaria uma parte cresceria mais rapidamente em detrimento de outra. E se for menor que 1, significa que uma parte cresce mais lentamente que a outra envolvida (hipoalometria). Enquanto que o coeficiente “a” seria o valor da estimativa da parte do animal quando a outra parte envolvida for igual a 1, por exemplo, se a massa assume valor de 1kg, o valor da área de superfície seria igual a “a” (REISS, 1989).

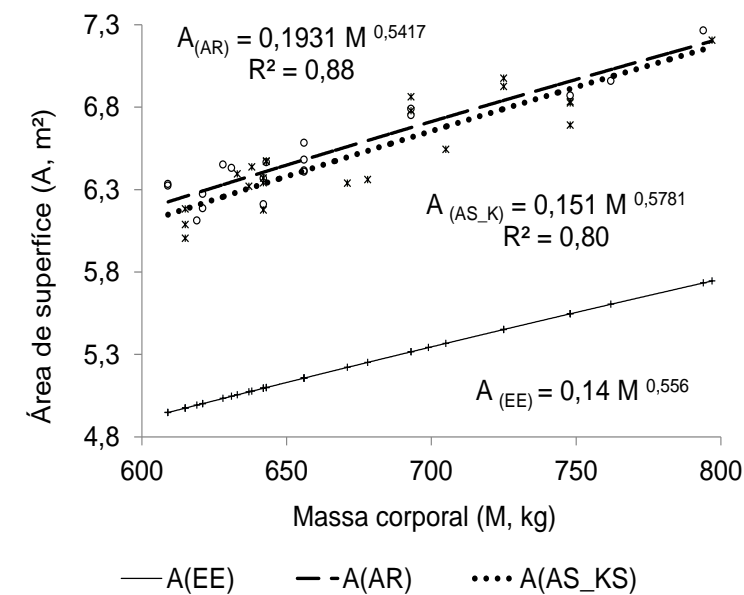
Tabela 6. Dados obtidos para bovinos Nelore.

Número do animal	Massa corporal (kg)	Área de superfície (m ²)		Volume (m ³)		Área de Superfície (Finch, 1985)
		AR	AS_KS	AR	AS_KS	
1	619	6,1122	-	0,6492	-	4,9924
1	615	-	6,0875	-	0,5960	4,9744
1	615	-	6,1827	-	0,6181	4,9744
1	615	-	6,0037	-	0,5885	4,9744
1	621	6,1862	-	0,6955	-	5,0013
1	621	6,2726	-	0,6919	-	5,0013
1	642	-	6,3405	-	0,6390	5,0947
1	642	6,2099	6,1757	0,6924	0,6288	5,0947
1	642	6,3681	6,3696	0,7172	0,6709	5,0947
2	628	6,4511	-	0,6821	-	5,0326
2	643	6,4648	6,4735	0,6843	0,6356	5,0991
2	643	-	6,4708	-	0,6471	5,0991
2	671	-	6,3387	-	0,6548	5,2214
2	678	-	6,3606	-	0,6565	5,2516
4	748	-	6,6909	-	0,7599	5,5465
4	748	6,8696	6,8332	0,821	0,7754	5,5465
4	762	6,959	-	0,8656	-	5,604
4	797	-	7,206	-	0,816	5,7456
4	794	7,2651	-	0,9184	-	5,7336
5	609	6,3339	-	0,6704	-	4,9474
5	609	6,3226	-	0,6809	-	4,9474
5	631	6,4303	-	0,7141	-	5,0460
5	637	-	6,3189	-	0,6612	5,0726
5	638	-	6,4373	-	0,6624	5,0770
5	633	-	6,3951	-	0,6346	5,0549
6	656	6,4813	-	0,6943	-	5,1562
6	656	6,4160	-	0,6976	-	5,1562
6	656	6,5833	-	0,7016	-	5,1562
6	656	6,4078	-	0,7240	-	5,1562
6	693	6,7512	6,8630	0,7369	0,6876	5,3159
6	693	6,7899	6,7785	0,7716	0,6796	5,3159
6	699	-	-	-	-	5,3414
6	725	-	6,9249	-	0,7531	5,4510
6	725	-	6,9746	-	0,7512	5,4510
6	705	-	6,5433	-	0,6931	5,3669

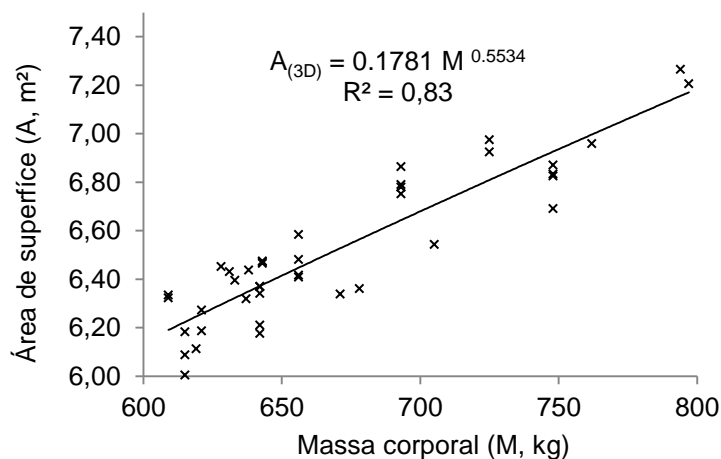
- significa que os dados não foram possíveis naquela observação. EE = Equação Empírica; AR = Autodesk Remake – Fotogrametria digital; AS_KS = Artec Studio e Kinect Sensor – Escanner; IMM = Instrumento Manual de Medição.

A Figura 37 mostra os valores de área de superfície em função da massa corporal, onde se observa na Figura 37a, que o coeficiente “a” nas equações alométricas obtidas pelos modelos 3D são superiores aos valores utilizados nas

equações desenvolvidas para gado de corte e gado de leite (Tabela 1), sugerindo que o valor dessa constante esteja entre 0,15 e 0,19 para o gado nelore, porém com 95% de confiança o valor de “a” estaria entre 0,84 e 0,22. Enquanto que os valores do coeficiente “b” estão em consonância com aqueles descritos pela literatura e com 95% de confiança, seu valor provável estaria entre 0,47 e 0,64. Quando se considera todas as observações obtidas com o uso de modelos 3D (AR e AS_K), foi ajustada uma equação geral para estimar a área de superfície em função da massa, como descrito na Figura 37b.



(a)



(b)

Figura 37. Área de superfície em função da massa corporal, em bovino Nelore. (a) Equações empíricas desenvolvidas por modelos 3D e EE utilizada por Finch (1985). (b) Equação empírica geral obtida pelas medidas dos modelos 3D. (EE = Equação Empírica; AR = Autodesk Remake–Fotogrametria digital; AS_KS = Artec Studio e Kinect Sensor – Scanner)

Esses valores encontrados podem ser explicados pelo fato de essas equações terem sido desenvolvidas tendo como base animais de raças diferentes, como Brahman e Hereford-Shortorn, espécies que possuem conformação corporal distintas dos bovinos Nelore, bem como o atual esforço empreendido no melhoramento genético animal para esse grupo de animais encontrado atualmente. Portanto, a diferença observada nos coeficientes pode ser atribuída a um efeito intraespecífico, como aborda Reiss (1989).

Quando se dispôs o volume, medido a partir dos modelos 3D, em função da massa corporal, obteve-se uma função potência aproximadamente isométrica conforme descrito na Figura 38a, enquanto que, quando o volume foi disposto em função da área de superfície, uma equação hiperalométrica foi encontrada, como apresentada na Figura 38b.

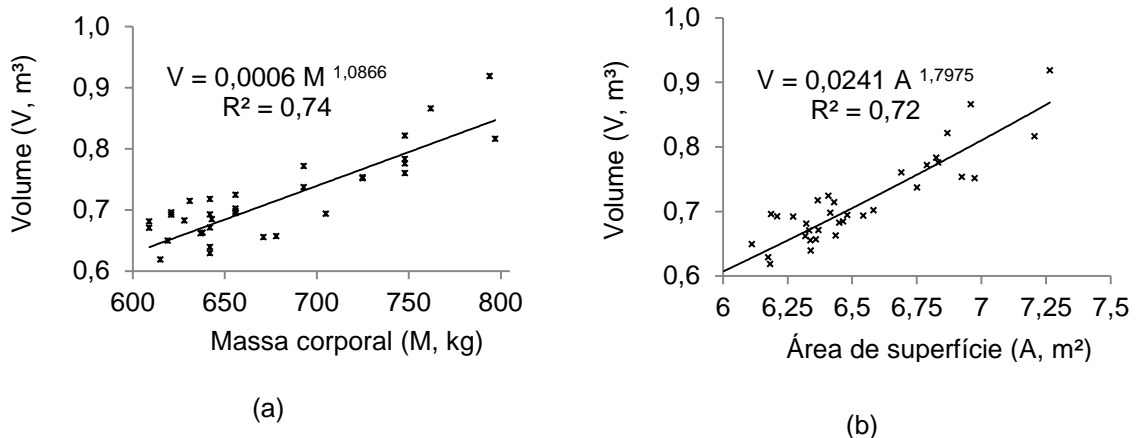


Figura 38. Volume em função da massa corporal (a) e da área de superfície, em bovinos Nelore.

Para verificar a precisão dessas funções, elas foram aplicadas aos dados observados, e os desvios observados foram inferiores a 10% em relação às observações e, em média, inferiores a 2%. Minagawa (1994) mediu a área e o volume do gado japonês Shorthorn por fotogrametria e obteve equações alométricas baseadas na massa para área superficial [7] e volume [8], como descritas a seguir:

$$A_{(EE_{Min})} = 0.235 \cdot M^{0.480}$$

[7]

$$V_{(EE_{Min})} = 0.00376 \cdot M^{0.805} \quad [8]$$

Onde A é a área de superfície (m²), V é o volume (m³) e M é a massa corporal (kg).

Quando foram aplicadas as funções desenvolvidas por Minagawa para os dados deste estudo, a diferença observada na estimativa da área de superfície foi acima de 15%, enquanto que para o volume as diferenças se mantiveram abaixo de 5%. Outra abordagem que é apresentada neste estudo foi a estimativa da área específica (área por unidade de massa) em função da massa corporal. E foi observado um decréscimo da área específica com o aumento da massa corporal, ou seja, a relação área/massa diminuiu com o aumento do tamanho do animal (Figura 39).

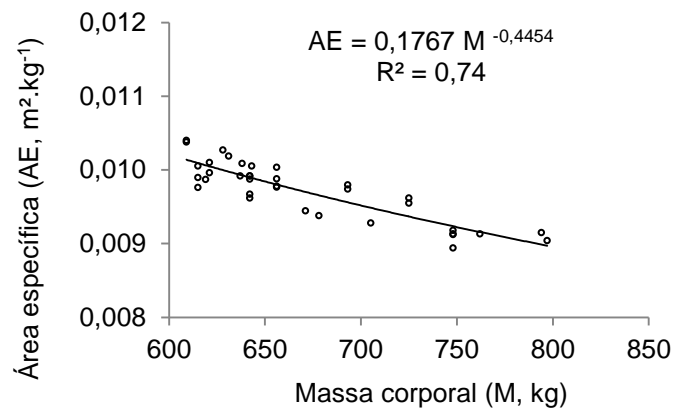


Figura 39. Área específica em função da massa corporal, em bovino Nelore.

5.3. Análise em ambas as espécies estudadas

Diante dos resultados já apresentados neste estudo, comprovou-se a metodologia de modelagem tridimensional em animais (Figura 40), bem como a sua utilização para estimar de área de superfície e volume. De acordo com o conjunto de dados de área de superfície e volume obtidos de todos os animais envolvidos nesse trabalho, um ótimo ajuste das funções alométricas de área de superfície em função da massa corporal e do volume foi observado (Figuras 41.a e 41.b).

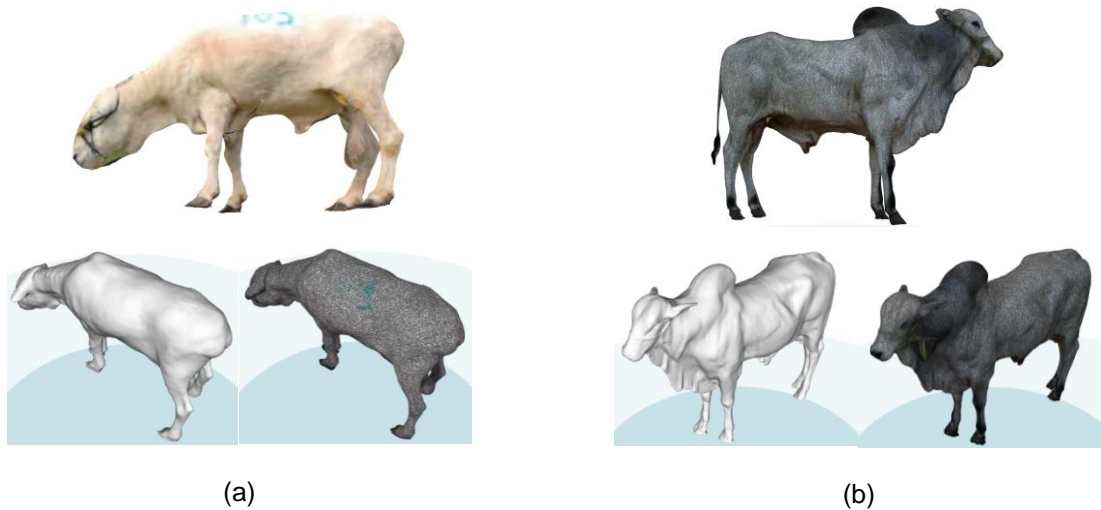


Figura 40. Modelos 3D de ovino corriedale e bovino nelore obtidos neste trabalho.

Ao comparar as equações desenvolvidas para ovinos e os dados gerais (valores de ovinos e bovinos), observaram-se taxas de crescimento similares para a área de superfície, o que pode ser uma indicação de que a equação geral obtida pode ser usada para as espécies estudadas. Para exemplificar, foram tomados dois supostos animais (ovinos e bovinos) de massas 30 e 700 kg, respectivamente. Entrando nas respectivas equações para ovinos e bovinos e comparando os resultados da área superficial com a equação geral, os resultados foram 3,15% e 0,72% de diferença para ovinos e bovinos, respectivamente.

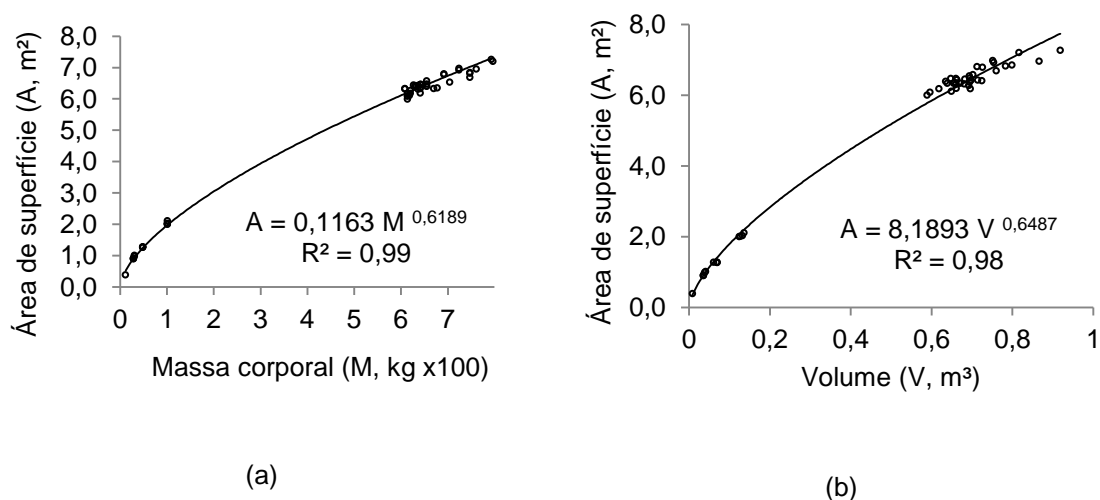


Figura 41. Área de superfície em função da massa corporal (a) e volume (b), em ovinos Corriedale e bovinos Nelore.

No entanto, é necessário aprofundar esta relação com o desenvolvimento de mais estudos e novos dados intermediários da curva, já que os resultados de uma equação de regressão limitam-se a amplitude abordada no estudo. Ao traçar a área de superfície em função do volume, também foi obtido um ajuste excelente ($R^2 = 0,99$), mas a taxa de crescimento dessa equação geral permaneceu acima da taxa observada para ambos os dados específicos da espécie. No entanto, quando a equação geral foi aplicada aos dados do volume bovino, os erros envolvidos estavam no máximo de 5%.

Quando se plotou todos os dados do volume em função da massa obteve-se uma equação geral para o volume com taxa de crescimento próximo a 1, ou seja, o volume em função da massa tem um crescimento praticamente isométrico. Esses dados confirmam as equações desenvolvidas para as espécies isoladamente (Figura 42a). Resultados similares para equação geral e específicas foram observados para o volume em função da área de superfície, ou seja, uma função hiperalométrica foi descrita para representar todos os dados envolvidos (Figura 42b).

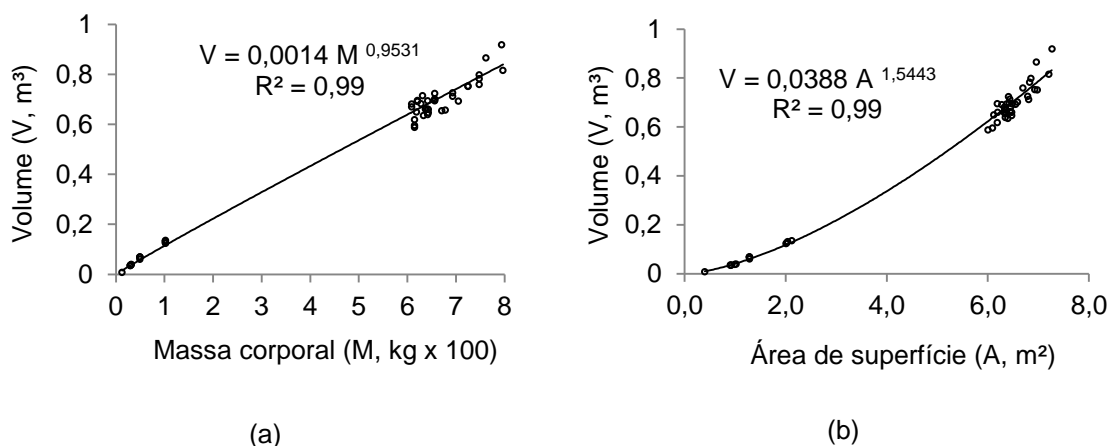


Figura 42. Volume em função da massa corporal (a) e da área de superfície (b), dados de ovinos e bovinos.

Para área específica em função da massa corporal (Figura 43a), na equação geral, uma taxa de crescimento intermediário entre as taxas das equações de ovinos e bovinos. Enquanto que para a área específica em função do volume (Figura 43b), a equação geral teve uma taxa decrescente de 0.3988 e coeficiente $a = 0.0086$, isto é, os coeficientes foram menores que aqueles encontrados para ovinos.

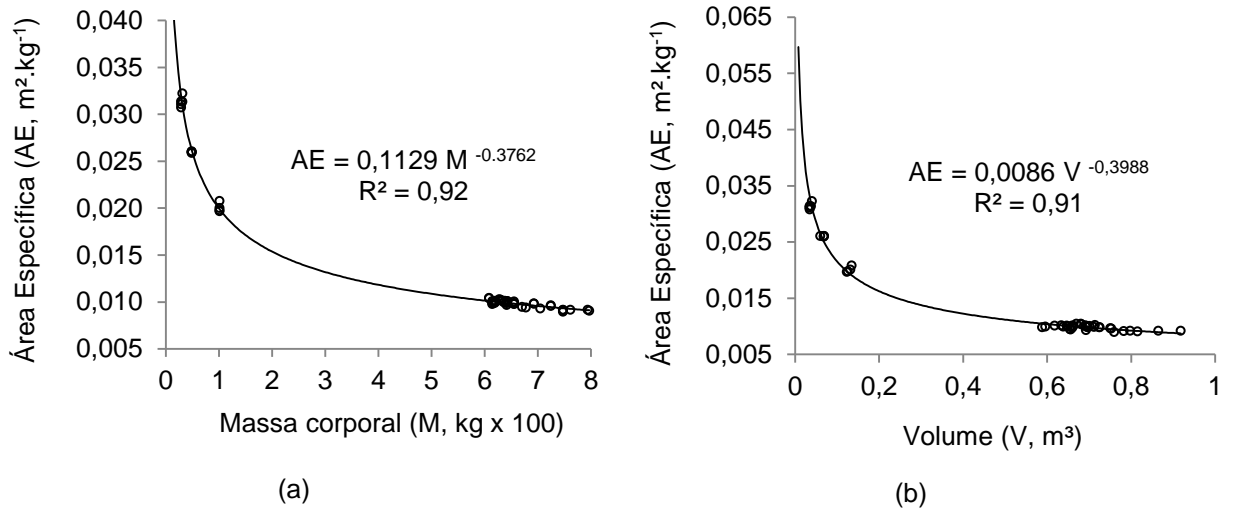


Figura 43 Área específica em função da massa corporal (a) e do volume (b), dados de ovinos e bovinos.

Já a relação área / volume da equação geral teve uma taxa de decrescimento 1,4 vezes maior que aquela desenvolvida para ovinos, enquanto que o coeficiente “a” da equação alométrica geral para a relação área / volume reduziu em 1,6 vezes (Figura 44).

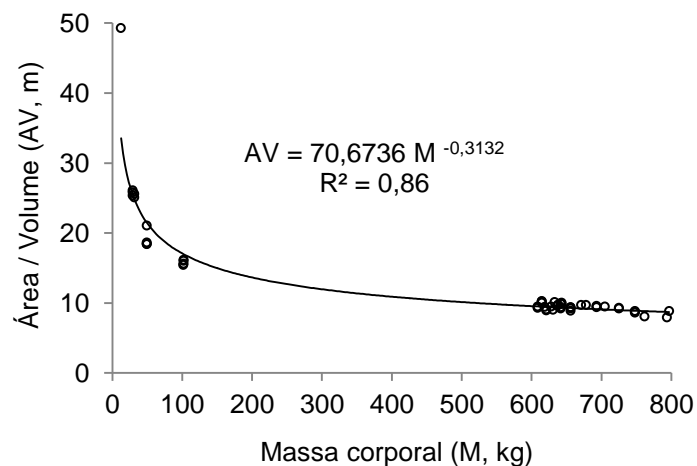


Figura 44. Relação área/volume geral em função da massa corporal, dados de ovinos e bovinos.

5.4. Implicações

Estudos do balanço térmico animal (Maia et. al., 2005; Maia et. al., 2015), tem quantificado o fluxo de calor por convecção, por exemplo, considerando o animal como um cilindro horizontal padrão (CHP), não sendo considerada a área de superfície das pernas, pescoço e cabeça. Então, os ovinos foram modelados como um CHP e como um cilindro horizontal completo (CHC), isto é, incluindo as partes anteriormente citadas, de acordo com as medidas do animal, conforme descrito por Silva e Maia (2013)

Quando a área de superfície do animal foi medida no CHP e comparada com os resultados obtidos neste estudo, observou-se uma medida subestimada em 48% para o animal de menor peso e de 30% para os animais mais pesados. Mas para o EE observou-se uma estimativa subestimada em cerca de 60% para animais mais leves e cerca de 20% para animais maiores. Em média, a diferença ficou em torno de 36%.

No entanto, quando foi considerado o CHC, a área de superfície medida foi semelhante às medidas obtidas por modelos 3D e IMM (Figura 45.a). As partes, membros anteriores (MA), membros posteriores (MP) e cabeça (CAB), corresponderam, em média, a 35% da área de superfície do CHC (Figura 45.c). O que justificou a diferença média encontrada neste trabalho. Desta forma, não é recomendado usar o CHP para medir a área de superfície, enquanto que considerar o CHC pode ser um processo razoável, mas tem um fator limitante que é a obtenção medida.

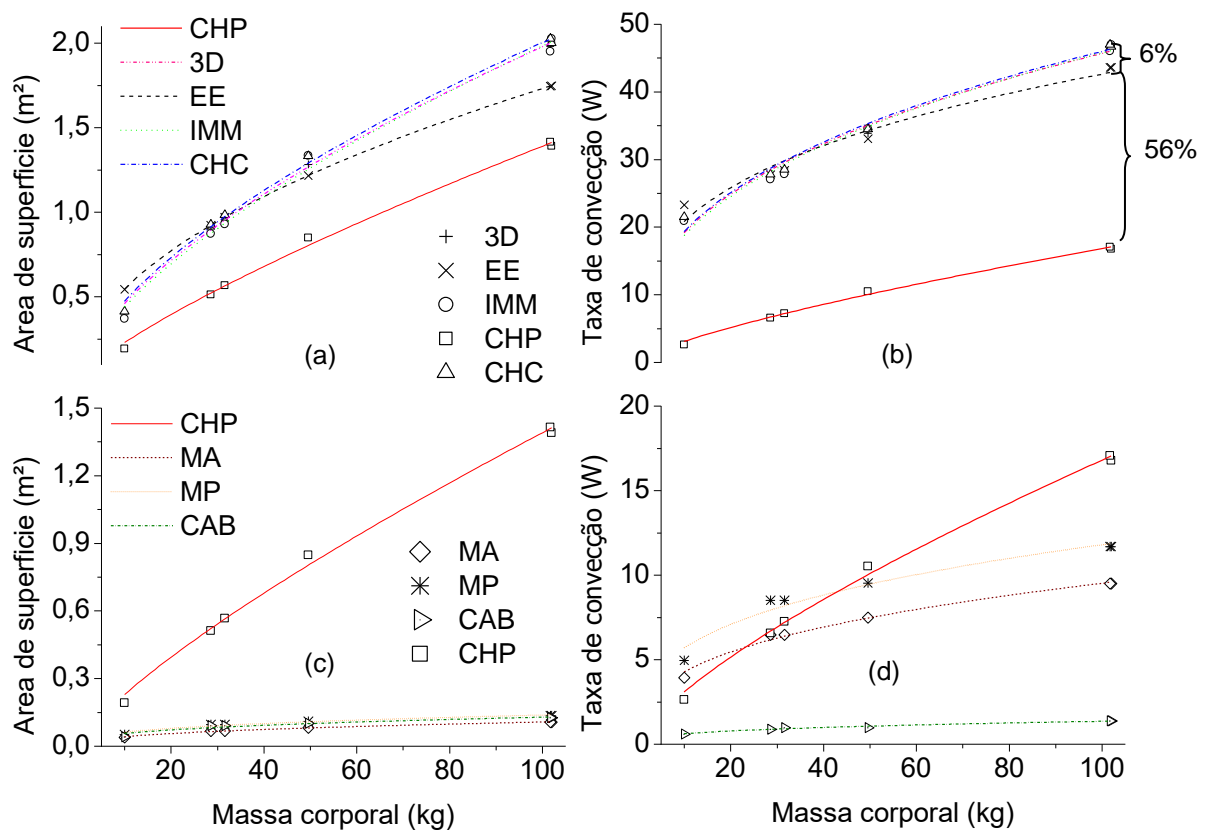


Figura 45. Comparação entre diferentes modelos da área de superfície e seu impacto na transferência de calor por convecção, em ovinos corriedale.

CHP – Cilindro Horizontal Padrão. 3D – modelos tridimensionais. EE – Equação empírica. IMM – Instrumento Manual de Medição. CHC – Cilindro Horizontal Completo. MA – Membros Anteriores. MP – Membros Posteriores. CAB - Cabeça

Esses achados são importantes para melhorar a modelagem dos sistemas biológicos, principalmente em estudos de transferência de calor e massa. Por exemplo, de acordo com as equações disponíveis em Silva e Maia (2013), foi realizada uma simulação da taxa de transferência de calor por convecção natural para os animais deste estudo (Figuras 45.b e 45.d), onde foram considerados os seguintes dados de entrada: latitude = -21.37° ; altitude = 597 m; temperatura do ar = 30°C ; temperatura da superfície do animal = 35°C ; MA dimensionados de 0.04-0.07m x 0.28-0.45m; MP dimensionados de 0.05-0.08m x 0.3-0.5m; diâmetro da cabeça variando entre 0.12 a 0.2m.

Quando o CHP foi utilizado, a taxa de convecção natural foi significativamente subestimada, em média, de 67%, implicando em erros severos na estimativa do equilíbrio térmico de animal. Assim, se a instalação estiver acoplada com um

sistema que usa esses modelos para calcular o equilíbrio térmico, o sistema será executado com erros que podem comprometer a produção animal.

Outra abordagem que pode ser usada neste contexto são os dados de imagens bidimensionais (2D), como a área de superfície 2D relacionada aos dados utilizados neste trabalho. Por exemplo, foi feita uma área 2D a partir de cinco imagens laterais de ovinos Corriedale e foram obtidos os seguintes resultados na tabela 7.

Tabela 7. Dados de área lateral 2D de fotos 2D de ovinos Corriedale e bovinos Nelore.

	Animal number	Body Mass (M, kg)	3D Surface area ($A_{(3D)}$, m ²)	Volume (V, m ³)	2D Area ($A_{(2D)}$, m ²)
Ovinos	120	31,6	0,9895	0,0387	0,3676
	60	29,4	1,0179	0,0406	0,3724
	119	49,3	1,2808	0,0695	0,4680
	103	102,0	2,0034	0,1243	0,7340
	101	101,7	2,0353	0,1321	0,7318
Bovinos	6	656,0	6,4813	0,6943	1,8075
	6	656,0	6,5833	0,7016	1,8085
	2	628,0	6,4511	0,6821	1,7654
	4	762,0	6,9590	0,8656	1,9021
	5	631,0	6,4303	0,7141	1,7872
	2	643,0	6,4692	0,6500	1,7671
	6	693,0	6,7842	0,7256	1,8564
	5	637,0	6,3189	0,6612	1,7848
	4	797,0	7,2060	0,8160	1,9303
	5	638,0	6,4373	0,6624	1,7940
	5	633,0	6,3951	0,6346	1,7888
	1	615,0	6,1827	0,6181	1,7420

Quando foi plotada a área de superfície 3D em função da área 2D (Figura 46), a equação ajustada produziu valores próximos às observações reais. Observou-se diferenças inferiores a 7% na estimativa da área de superfície 3D para ovinos Corriedale usando a equação de ovinos (Figura 46.a) e quando foi utilizada a equação geral (Figura 46.c), o desvio máximo foi semelhante. Quando foi aplicada a equação do bovino para estimar a área de superfície 3D dos bovinos, as diferenças da estimativa foram inferiores a 2% e um resultado semelhante foi observado na equação geral. As maiores diferenças encontradas na estimativa da superfície de

ovinos provavelmente poderiam estar relacionadas à pequena quantidade de dados observados.

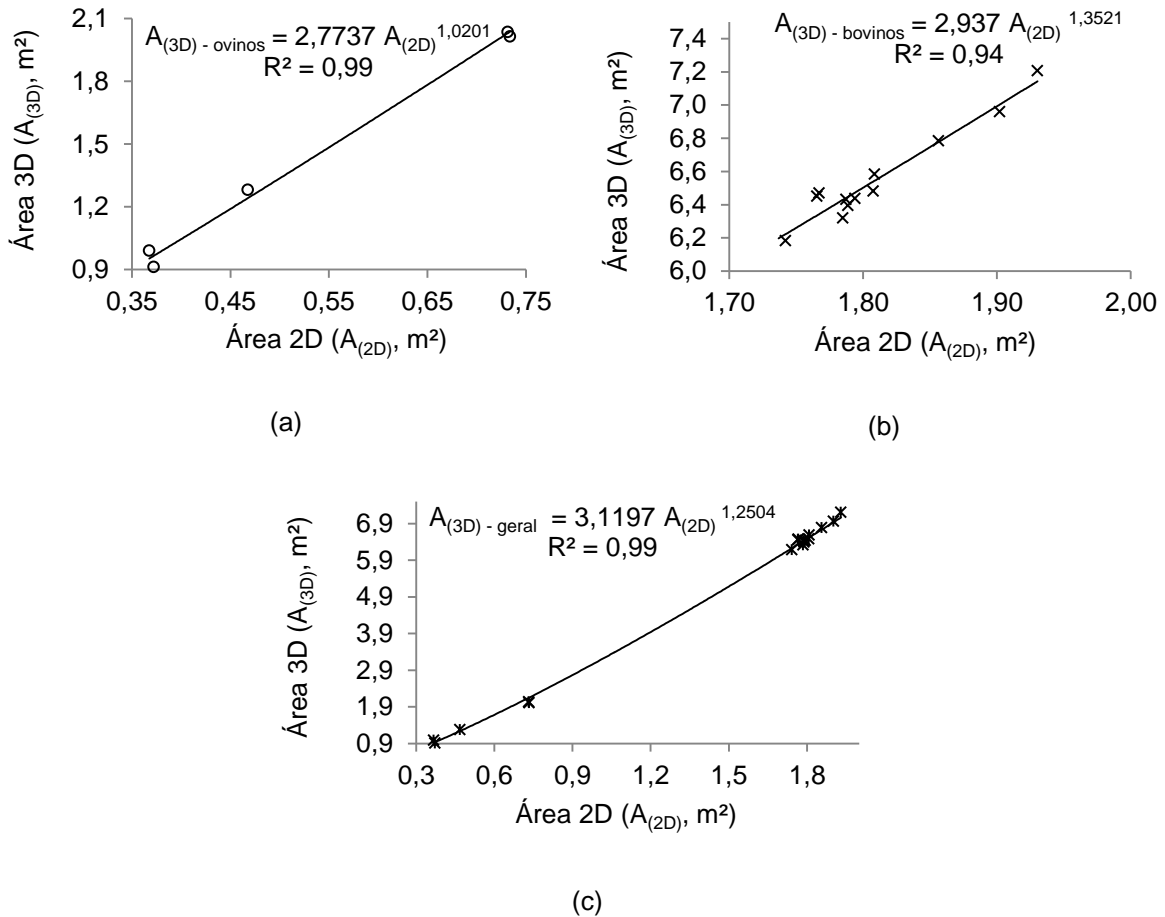


Figura 46. Área de superfície tridimensional (3D) em função da área lateral bidimensional (2D). (a) Aplicação em ovinos Corriedale. (b) Aplicação em bovinos Nelore. (c) Análise combinada.

Do mesmo modo, foi ajustado o volume em função da área 2D (Figura 47). Considerando a aplicação em ovinos Corriedale, a equação específica de ovinos (Figura 47.a) e a equação geral (Figura 47.c) produziram estimativas com desvios máximos de 8.5 e 7.5%, respectivamente. Enquanto que para bovinos Nelore, a equação específica (Figura 47.b) e equação geral (Figura 47.c) tiveram estimativas de volume com erro máximo de 6.7 e 11.5%, respectivamente, para o mesmo animal. As demais estimativas tiveram erros abaixo desses valores.

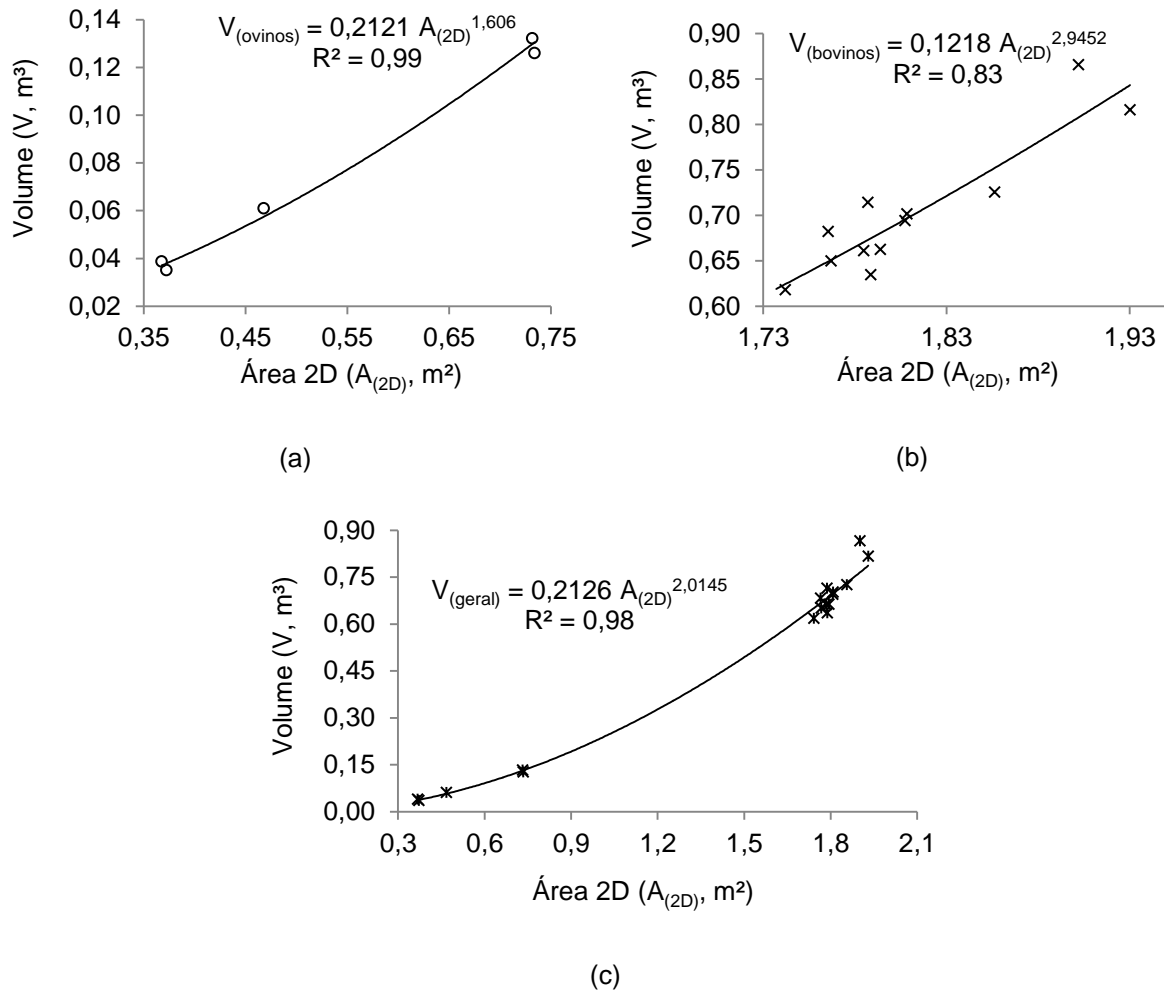


Figura 47. Volume em função da área lateral 2D. (a) Aplicação em ovinos Corriedale. (b) Aplicação em bovinos Nelore. (c) Análise combinada.

Quando foi plotada a massa corporal em função da área 2D das imagens bidimensionais, os ajustes estão dispostos na Figura 48. As equações específicas ajustadas (Figuras 48.a e 48.b) resultaram em uma precisão muito boa dessas estimativas da massa corporal a partir de imagens 2D. A estimativa para ovinos Corriedale teve um erro máximo de 6,7%, enquanto que os demais erros envolvidos foram menores que 3%. Já para bovinos Nelore, erro variou entre 0,5 a 2,6%. Quando a equação geral, o desvio máximo foi de 10,5%, para ovinos de Corriedale, enquanto para o bovino Nelore foi de 6%.

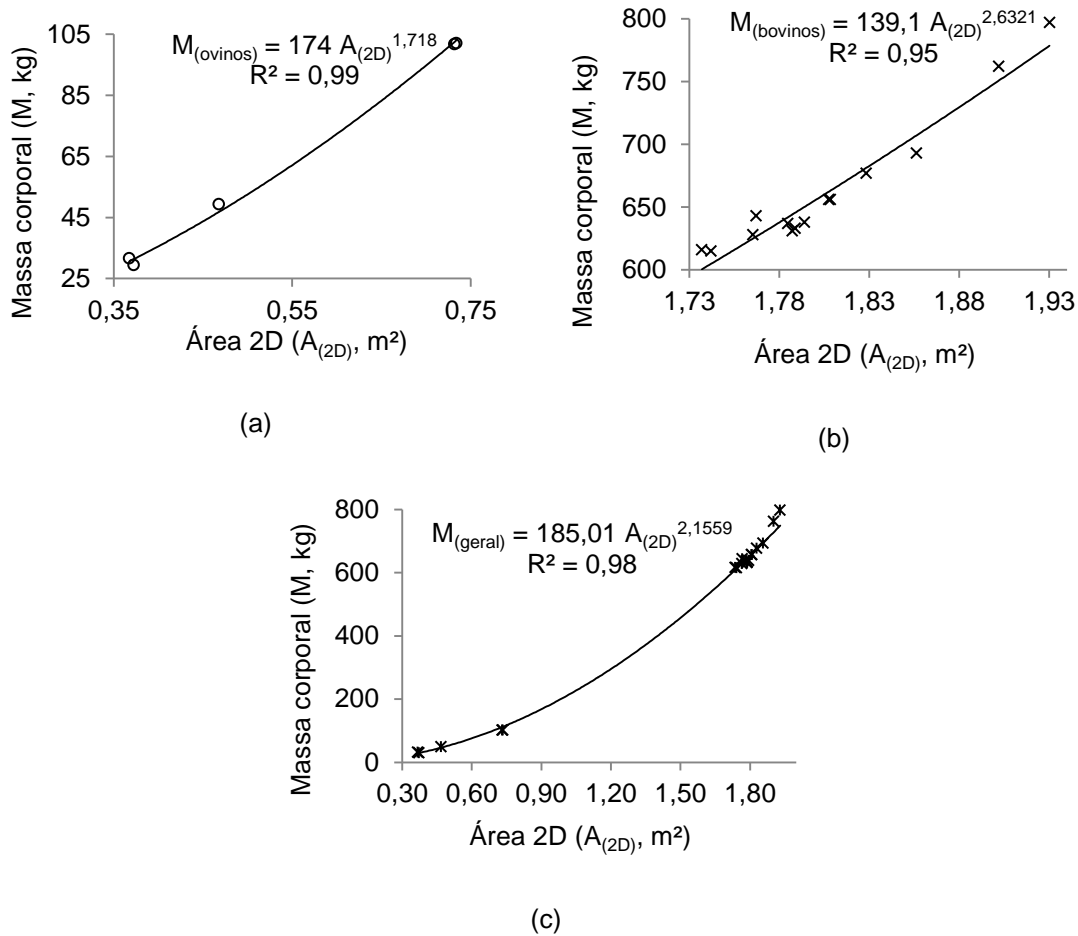


Figura 48. Massa corporal em função da área lateral 2D. (a) Aplicação em ovinos Corriedale. (b) Aplicação em bovinos Nelore. (c) Análise combinada.

Esses resultados mostram que é possível usar relações entre imagens 2D e modelos 3D para construir sistemas baseados nessas informações e, de forma fácil e rápida, é possível obter informações como área de superfície, volume e massa corporal, bem como outras medidas dos animais, podendo se constituir em uma poderosa ferramenta tecnológica na produção animal. No entanto, é realmente necessário mais informações para melhorar a precisão e confirmação desses resultados como o intervalo que não foi estudado para confirmar essa parte da equação.

Com isso tem sido idealizado e projetado, a partir dos resultados deste estudo, um aparato de modelagem 3D para aplicação em nível de campo, a fim de viabilizar o estudo com diferentes espécies e em diferentes fases de crescimento,

podendo o mesmo se tornar uma tecnologia de aplicação em sistemas produtivos, melhorando e impactando consideravelmente a criação de animais.

Outra abordagem que poderia ser usada a partir dos modelos 3D seria no melhoramento genético de animais. No Brasil, os programas de melhoramento genético, inicialmente, foram voltados apenas com base no peso, selecionando uma população mais pesada, porém uma parte significativa desse peso estava mais concentrada em regiões que não interessava ao mercado da carne, como ossos, por exemplo. Foi então que se desenvolveram os critérios de seleção visual para avaliar melhor a distribuição do peso no corpo do animal, ou seja, a busca por maiores volumes de músculos.

Associação Brasileira de Criadores de Zebu, pelo Programa de Melhoramento Animal das Raças Zebu, tem utilizado um método de avaliação visual chamado EPMURAS®, proposto por Koury Filho (2005). As siglas significam: E - Estrutura do Corpo, P - Precocidade, M - Músculo, U - Umbigo, R - Caracterização Racial, A - Aprumos (direção perfeita dos membros em relação ao solo) e S - Sexualidade (Faria, et al., 2007).

A Tabela 8 mostra os escores utilizados na avaliação do método EPMURAS. Escores de E = 6, significa animais de grande porte para a raça, enquanto E = 3 significa animais pequenos perante a raça. Escores de P = 6, indica animais que apresentam grande profundidade de costelas e virilha muito baixa, e que na idade adulta a relação costela/altura excede 58% enquanto P = 3, indica indivíduos pernaltas que apresentam proporção abaixo de 40% de costelas em relação a altura.

Escore de Musculatura M = 6, significa grande ênfase na expressão de massas musculares e M = 3, significa animal fraco na musculabilidade. Índices de U de acordo com a Figura 18.b. Escore de R = 4, significa muito bom, agradando bastante o padrão racial e pode apresentar até um defeito leve relacionado a raça, enquanto R = 1 é fraco e mostra pelo menos um defeito gravíssimo e, portanto desclassifica o indivíduo pelos padrões respectivos das raças ou associações.

Índices de A = 4 é muito bom e significa osso compatível com o desenvolvimento do corpo, angulação de jarretes correta, cerca de 160 graus de ângulo interno e 45 graus de quarteto e não apresentam defeitos dos membros dianteiros e traseiros que chamam atenção. Enquanto A = 1 é fraco e significa que

apresentam algum defeito importante. Escores de $S = 4$ é o dimorfismo sexual evidente em relação a características sexuais secundárias e testículos ou vulvas bem desenvolvidos. Enquanto $S = 1$ são caracteres sexuais invertidos, isto é, machos afeminados e fêmeas masculinizadas.

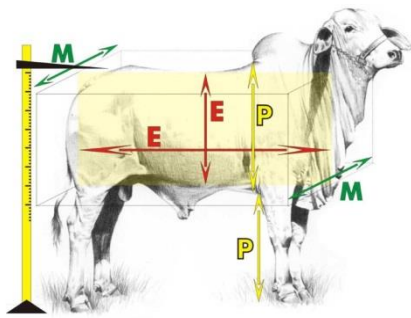
Tabela 8. Pesos dos escores corporais a serem seguidos para avaliação visual. (Fonte: Koury Filho et al., 2015)

Características	*							
	Escore							
Estrutura corporal (E)	0	1	2	3	4	5	6	
Precocidade (P)	0	1	2	3	4	5	6	
Musculosidade (M)	0	1	2	3	4	5	6	
Umbigo (U)	0	1	2	3	4	5	6	
Caracterização Racial (R)	0	1	2	3	4	-	-	
Aprumos (A)	0	1	2	3	4	-	-	
Sexualidade (S)	0	1	2	3	4	-	-	

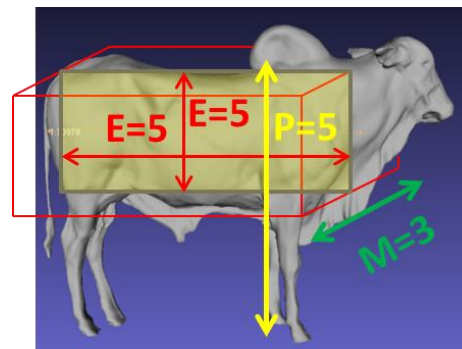
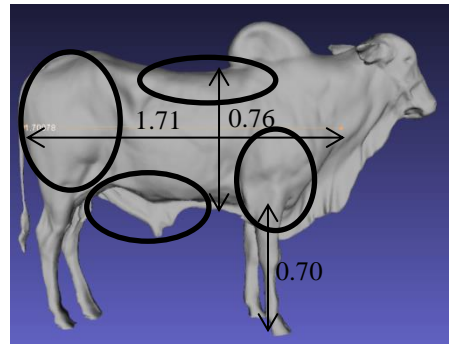
* Desqualificado.

Desta forma, essas características poderiam ser medidas diretamente nos modelos 3D ou por um sistema de visão computacional baseado neles, facilitando essa avaliação pelo método EPMURAS®. Na Figura 49 é possível ver a avaliação da EPMURAS por Koury Filho (2005; 2015) e por modelos 3D desenvolvidos neste trabalho. É verdade que esta avaliação é um método subjetivo e depende da experiência do avaliador, mas os modelos 3D podem ser uma ferramenta para auxiliar esse processo. A partir da descrição de Koury Filho, foi realizada uma avaliação simples e rápida em um modelo 3D e pode ser vista nas Figuras 49.c e 49.d.

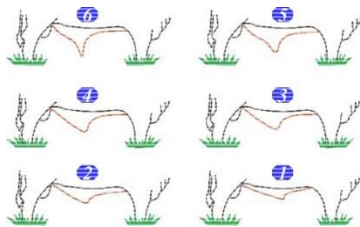
Todos os métodos considerados neste estudo têm vantagens e desvantagens. Uma das limitações da utilização das equações de regressão foi como apresentado neste trabalho, uma vez que são válidas apenas para o perfil animal do estudo em questão. Para quando é aplicado a animais fora desse intervalo, o erro pode ser consideravelmente grande. Talvez uma das principais vantagens do uso de modelos 3D é sua utilização para obter outras medidas dos animais, bem como promover avanços no desenvolvimento de sistemas de visão computacional e pode ser usado em avanços no melhoramento genético de animais.



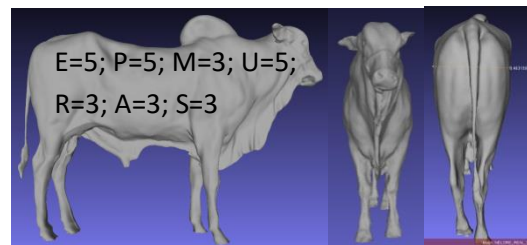
(a) Fonte: Koury Filho, 2005



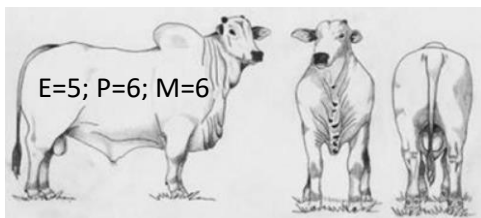
(c) - 3D model



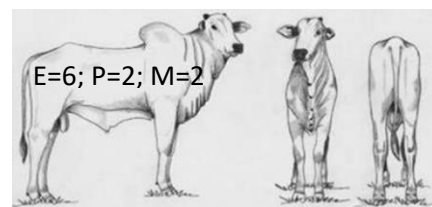
(b) Fonte: Koury Filho, 2005



(d) - 3D model



(e) Fonte: Koury Filho et al., 2015



(f) Fonte: Koury Filho et al., 2015

Figura 49. Modelo 3D e método EPMURAS® para avaliações no melhoramento genético.

Por outro lado, o uso da modelagem 3D é limitado pela tecnologia, uma vez que o usuário precisa se qualificar para usá-lo e precisa ter um excelente computador com uma configuração recomendada. Outra limitação deste procedimento é justamente o fato de o animal precisar ficar imóvel. É imprescindível a partir de agora, desenvolver uma ferramenta de modelagem tridimensional mais hábil e que supere essas limitações. As limitações do método IMM consistem na questão de que o instrumento não é comercial e o pesquisador precisa construir o próprio equipamento e usá-lo corretamente, bem como o tempo envolvido no processo.

Certamente, a pesquisa caminhará nessas direções e acreditamos que a modelagem 3D é uma forma de melhorar os sistemas de produção com avanços tecnológicos e trabalhos que envolvem a predição da área superficial e da massa corporal por um sistema embutido baseado em informações como mostrado neste artigo. Outro passo neste processo é tornar o método mais prático ao nível do campo.

6. CONCLUSÕES

Os softwares Artec Studio 11® e Autodesk Remake® são adequados para construir modelos 3D em animais.

O uso de modelagem 3D para obtenção da área de superfície e volume em animais foi comprovado.

O método parecer ser o melhor caminho para obtenção da área de superfície animal e, certamente, aparece como uma ferramenta para melhorar as pesquisas envolvendo a transferência de calor e massa e programas de melhoramento animal.

Este método pode ser usado para atualizar e ajustar equações empíricas para diferentes espécies; ele aparece ainda como uma ferramenta para encontrar a massa corporal baseada na área de superfície.

As equações empíricas ajustadas para ovinos e bovinos podem ser usadas para medir a área de superfície baseada na massa corporal, para as raças estudadas.

As equações empíricas combinadas de área de superfície é um meio de obter essas medidas para um conjunto de espécies distintas.

É possível estimar a área de superfície em função do volume ou da área de uma imagem 2D do animal.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTEC3D (2016). User Guide ARTEC STUDIO 11. Luxembourg: Artec Industry.

AYDIN, A.; CANGAR, O.; OZCAN, S. E.; BAHR, C.; BERCKMANS, D. Application of a fully automatic analysis tool to assess the activity of broiler chickens with different gait scores. **Comput. Electron. Agric.** 73:194–199. 2010.

BENNETT, J. W. Regional body surface area of sheep. **J. Agric. Sci.**, vol. 81, no. 3, pp. 429–432, 1973.

BERMAN, A. Effects of Body Surface Area Estimates on Predicted Energy Requirements and Heat Stress. **J. Dairy Sci.**, vol. 86, no. 1945, pp. 3605–3610, 2003.

BERNER, J. Calculation of the Body Surface area by Photogrammetry. **The Scand. J. Clin. Lab. Invest.**, 6: 322-324. 1954.

BETWEEN THE LINES: Autodesk, technology, design and more with Shaan Hurley. Disponível em: <<http://autodesk.blogs.com/files/project%20memento%20getting%20started.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

BIONDI, A. The use of an innovative tool to assess the body condition score, in Conference: XXV Jubilee International Congress of the Hungarian Association for Buiatrics, At Budapest, Hungary, Volume: (1), 3–5. 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.3192.2640

BLOEMEN, H.; AERTS, J. M.; BERCKMANS, D.; GOEDSEELS, V. Image analysis to measure activity index of animals. **Equine Veterinary Journal**. Supplement, 23(23), 16–19. 1997.

BRITO, J.; COELHO, L. Fotogrametria Digital. 1ª Ed., Instituto Militar, Rio de Janeiro. 2002. 214p.

BRODY, S.; ELTING, E. C.. A new method of measuring surface area and its utilization to determine the relation between growth in surface area and growth in weight and skeletal growth in dairy cattle. **Missouri Agr. Expt. Sta. Research Bull. No. 89**, 1926. 18 pp.

BRODY, S.; COMFORT, J. E.; MATHEWS, J. S. Further investigations on surface area with special reference to its significance in energy metabolism. **Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bull. No. 115**, 1928.

BURANAKARL, C.; INDRAMANGALA, J.; KOOBKAEW, K.; SANGHUAYPHRAI, N.; SANPOTE, J.; TANPRASERT, C.; PHATRAPONNANT, T.; SUKHUMAVASI, W.; NAMPIMOON, P. Estimation of body weight and body surface area in swamp buffaloes using visual image analysis. **Journal of Buffalo Science**, v. 1, n. 1, p. 13-20, 2012.

CAMERRO, L.Z.; MAIA, A.S.C.; CHIQUITELLI NETO, M.; COSTA, C.C. de M.; CASTRO, P.A. Thermal equilibrium responses in Guzerat cattle raised under tropical conditions, **Journal of Thermal Biology**, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.07.007>

COELHO FILHO, L.C.T.; BRITO, J.L.N.S. Fotogrametria Digital. Editora da UERJ. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

COWGILL, G. R.; AND DRABKIN, D. L., Determination of a formula for the surface area of the dog together with a consideration of formulae available for other species. **Amer. Jour. Physiol.**, 1927, LXXXI, 36.

CRUZ, L., LUCIO, D., VELHO, L. "Kinect and RGBD images: Challenges and applications," in Proceedings: 25th SIBGRAPI - Conference on Graphics, Patterns and Images Tutorials, SIBGRAPI-T 2012, 2012, pp. 36–49.

DAANEN, H. M. A. M.; VAN DE WATER, G. J. J. Whole body scanners. **Displays**, vol. 19, no. 3, pp. 111–120, 1998.

DA SILVA, D. C. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 3, n. 2, p. 81-96, 2015.

DU BOIS D.; DU BOIS EF. The measurement of the surface area of man. In: **Archives of Internal Medicine, Clinical Calorimetry**. fifth paper 1915; pp. 868-81.

ELTING, Erwin C.. A formula for estimating surface area of dairy cattle. **Journal of agricultural research**, Washington, v. 33, n. 3, p. 269-279, ago. 1926.

ESTES. E., HEMPHILL, J. History of Aerial Photographic Interpretation. July, 2003. Disponível em: http://knightlab.org/rscc/legacy/RSCC_History_of_Aerial_Photographic_Interpretation.pdf>. Acesso em: agosto de 2017.

FARIA, C. U., MAGNABOSCO, C. de U., ALBUQUERQUEM L. G., REYES, A. de los, SAUERESSING, M.G., LÔBO, R. B. Utilização de escores visuais de características morfológicas de bovinos Nelore como ferramenta para o melhoramento genético animal. Planaltina-DF: EMBRAPA-CPAC, 2007. 40 p. (EMBRAPA-CPAC, Documents 177).

FEIYANG, Z.; YUEMING, H.; LIANCHENG, C.; LIHONG, G.; WENJIE, D.; LU, W. Monitoring behavior of poultry based on RFID radio frequency network. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 9, n. 6, p. 139, 2016.

FINCH, V.A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. *Aust. J. Agric.Res.* 36, 497–508. 1985.

GOMES R A, G. R. MONTEIRO, G. J. F. ASSIS, K. C. BUSATO, M. M. LADEIRA, AND M. L. CHIZZOTTI. Technical note: Estimating body weight and body composition of beef cattle through digital image analysis¹. *J. Anim. Sci.* 94:5414-5422. 2016. doi:10.2527/jas.2016-0797

GOUMA, E.; SIMOS, Y.; VERGINADIS, I.; LYKLOUDIS, E.; EVANGELOU, A.; KARKABOUNAS, S. A simple procedure for estimation of total body surface area and determination of a new value of Meeh's constant in rats. *Lab. Anim.*, vol. 46, no. 1, pp. 40–45, 2012.

HARVEY W. R. Least-squares analysis of data with unequal subclass numbers. Beltville: USDA, 1960. 326p.

HERTZBERG, H. T. E.; DUPERTUIS, C. W.; EMANUEL, I. Stereophotogrammetry as an Anthropometric Tool. pp. 942–947, 1956.

HILL, R. W.; WYSE, A.G.; ANDERSON, M. *Fisiologia animal* 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

HOGAN AG, SKOUBY CI. Determination of the surface area of cattle and swine. *Journal of Agricultural Research.* 25(419):419-432, 1923.

JABBAR, K. A., HANSEN, M. F., SMITH, M. L., & SMITH, L. N. Locomotion Traits of Dairy Cows from Overhead Three-Dimensional Video. In ICPR (pp. 5–8). Cancun, Mexico. 2016.

JOHNSON, H. D., RAGSDALE, A. C., SIKES, J. D., KENNEDY, J. I., O'BANNON, E. B., HARTMAN. D. Environmental Physiology and Shelter Engineering LVII. Surface Area Determinations of Beef and Dairy Calves during Growth at 50°F and 80°F Environmental Temperatures. *Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 770. 1961.

KELLEY, K.W., CURTIS, S.E., MARZAN, G.T., KARARA, H.M., ANDERSON, C.R. Body surface area of female swine. *J Anim Sci.*, 36: 927-30. 1973.

KIBLER, H. H.; BRODY, S. Influence of temperature, 5° to 95°F, on evaporative cooling from the respiratory and exterior body surfaces in Jersey and Holstein cows. *Mo. Exp. Sta. Res. Bul.* 461, 1950.

KIBLER, H. H., BRODY, S. WORSTELL, D., surface area and metabolism of growing guinea pigs. *J. Nutr.* 33: 331-338, 1947.

KLEIBER M. Body size and metabolism. *Hilgardia.* 6:315–51. 1932.

KLEIBER, M.. Metabolic rate and food utilization as a function of body size. **Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 767**. Brody Memorial Lecture 1. 1961. 42p.

KOURY FILHO, W. Escores visuais e suas relações com características de crescimento em bovinos de corte. 2005. Tese de doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2005.

KOURY FILHO, W. N., TRAMONTE, T., BITTENCOURT, A., ALVES, F.C.P. "Avaliação Visual - EPMURAS descritivo", **Cad. Ciências Agrárias**, vol. 7, no. 1, pp. 12–21, 2015.

LINDER, W. Digital photogrammetry: Theory and applications. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2003. 189 p.

LOCH, C.; LAPOLLI, E. M. Elementos Básicos de Fotogrametria e sua Utilização Prática, Ed. Da UFSC, Florianópolis, SC, 1998.

LOWENSOHN, J. (2011). Timeline: a look back at kinect's history. Disponível em: <http://news.cnet.com/8301-10805_3-20035039-75.html>, acesso em agosto de 2017.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; LOUREIRO, C.M.B. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. **Int. J. Biometeorol.** 50, 17–22. 2005.

MAIA, A.S.C.; SILVA, R.G.; NASCIMENTO, S.T.; NASCIMENTO, C.C.N.; PEDROSA, H.P.; DOMINGOS, H.G.T. Thermoregulatory responses of goats in hot environments. **Int. J. Biometeorol.** 59:1025–1033. 2015.

MARINELLO, F.; PEZZUOLO, A.; DONATO, C.; SARTORI, L. Application of kinect-sensor for three-dimensional body measurements of cows. In: **7th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2015**, Milão-Itália, n.11, p.1-8, set. 2016.

MINAGAWA, H. Surface area, volume and projected area of Japanese shorthorn cattle measured by stereo photogrammetry using non-metric cameras. **Journal of Agricultural Meteorology**, 50 (1), pp. 17-22, 1994.

MINAGAWA, H. Stereo Photogrammetric Errors in Determining the Surface Area of a Small Pig Model with Non-metric Cameras. **J. Agric. Meteorol.**, vol. 51, no. 4, pp. 335–343, 1995.

MITCHELL, H. H. The surface area of Single Comb White Leghorn chickens. **J. Nutrition.** 2 (1930) 443-449.

MITCHELL, H. H. Comparative Nutrition of Man and Domestic Animals. (Academic Press: New York.), 1962, 701p.

MORAES, C.; MIAMOTO, P. Manual de Reconstrução Facial 3D Digital: Aplicações com Código Aberto e Software Livre -- 1. ed. -- Sinop-MT: EXPRESSÃO GRÁFICA, 2015. 424p.

MOULTON, C. R. Units of reference for basal metabolism and their interrelations. **J. Biol. Chem.**, vol. 24, no. 3, pp. 299–320, Mar. 1916.

OZKAYA, S.; & BOZKURT, Y. The relationship of parameters of body measures and body weight by using digital image analysis in pre-slaughter cattle. **Arch. Tierz. Dummerstorf**, 51(2), 120–128. 2008.

REISS, M. J. **The allometry of growth and reproduction**. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology. Vol. 96, p.182. 1989. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(90\)90082-4](https://doi.org/10.1016/0300-9629(90)90082-4)

RIBEIRO, J. C.. Fotogrametria digital. **Dep. de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa**, 2002.

SANDLER, M. W. **Photography : An Illustrated History**. Oxford University Press, New York. 2002. 156p.

SCHENK, T. **Digital Photogrammetry** – Volume I. TerraScience. 1a Ed. Estados Unidos: 1999.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia animal: Adaptação e meio ambiente**. 5 ed, São Paulo: Santos Editora, 2002. 611p.

SCHOFIELD, C.P.; MARCHANT, J.A.; WHITE, R.P.; BRANDL, N.; WILSON, M. Monitoring pig growth using a prototype imaging system. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72 (3), 205–210. 1999.

SILVA, R.G. Da; MAIA, A. S. C. **Principles of animal biometeorology**. New York: Springer, 2013. 261 p.

SIMÃO, B.R.; MAIA, A.S.C. Body's area and volume: a computational measurement. In: 1st International Meeting of Advances in Animal Science, 2016, Jaboticabal-SP. **Anais 1st International Meeting of Advances in Animal Science**, v. 1. 2016.

SPOLIANSKY, R.; EDAN, Y.; PARMET, Y.; HALACHMI, I. Development of automatic body condition scoring using a low-cost 3-dimensional Kinect camera. **Journal of Dairy Science**, 99(9), 7714–7725. 2016.

STAJNKO, D.; VINDIS, P.; BERK, P. Estimation of Bull Live Weight Using Thermal Imaging. **DAAAM International Scientific Book 2016**, 227–236. 2010. <https://doi.org/10.2507/daaam.scibook.2010.23>

TASDEMIR, S.; URKMEZ, A.; INAL, S. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. **Computers and Electronics in Agriculture**, 76, 189–197. 2011. doi:10.1016/j.compag.2011.02.001

TILLET, R.D.; ONYANGO, C.M.; MARCHANT, J.A. Using model-based image processing to track animal movement. **Computer and Electronics in Agriculture** 17, 249–261. 1997.

TOMMASELLI, A.M.G. Fotogrametria básica. **Presidente Prudente: UNESP**. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf 2009.

VIAZZI, S.; VAN HERTEM, T.; SCHLAGETER-TELLO, A.; BAHR, C.; ROMANINI, C. E. B.; HALACHMI, I.; BERCKMANS, D. Using a 3D camera to evaluate the back posture of dairy cows. In American Society of Agricultural and Biological Engineers **Annual International Meeting 2013, ASABE 2013** (Vol. 5). 2013.

YAMADA, F. A. A.; CEJNOG, L. W. X.; DEMBOGURSKI, R. A.; VIEIRA, M. B.; SILVA, R. L. S. Reconstrução de Objetos 3D utilizando Estruturas de Indexação Espacial com o Microsoft Kinect. WRVA – Workshop de Realidade Virtual e Aumentada - Paranavaí (PR) – Brasil, 2012.